প্রথম ভাগ :—সাধারণ পদার্থ-বিদ্যা,
তাপ, আলোক বিদ্যা ও শব্দ
দ্বিতীয় ভাগ :—চুম্বকত্ব, তড়িৎ।



প্রথম প্রকাশ—ফাল্গুন ১৩২৬
প্রকাশক—শ্রীশচীন্দ্রনাথ মুখোপাধ্যায়
বেঙ্গল পাবলিশার্স
১৪, বঙ্কিম চাটুজ্জে ষ্ট্রীট
কলিকাতা-১২
মুদ্রাকর—শম্ভুনাথ বন্দ্যোপাধ্যায়
মানসী প্রেস
৭৩, মাণিকতলা ষ্ট্রীট,
কলিকাতা—৬
প্রচ্ছদপট পরিকল্পনা—
আশু বন্দ্যোপাধ্যায়
ব্লক ও প্রচ্ছদপট মুদ্রণ
ভারত ফোটোটাইপ ষ্টুডিও
বাঁধাই—বেঙ্গল বাইণ্ডার্স

চুম্বকত্ব (Magnetism)

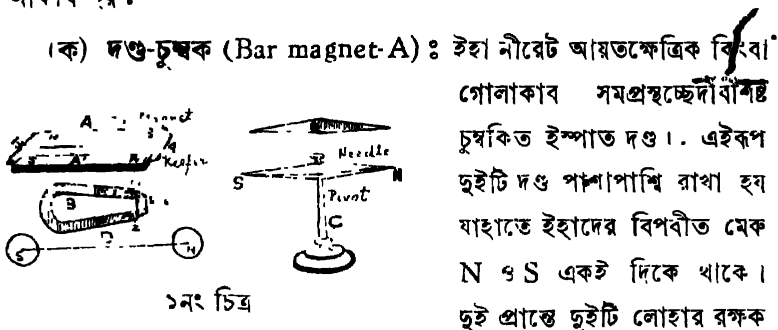
চুম্বকের সাধারণ ধর্ম (Simple Properties of a Magnet)

১। **প্রাকৃতিক চুম্বক** (Natural Magnets) : বহু খনির অভ্যন্তরে লৌহ ও অক্সিজেনের কাল রঙের এক রকম যৌগিক (Fe_3O_4) আকরিক (ore) পাওয়া যায়। Magnesia নামক স্থানে এই আকরিক প্রথম পাওয়া যায় বলিয়া ইহার নাম Magnetite হয়। ইহার তিনটি ধর্ম দেখা যায়; (ক) **আকর্ষণী** (Attractive) **ধর্ম** : যদি একখণ্ড Magnetiteকে কতকগুলি লৌহচূর্ণের (filing) মধ্যে ডুবাইয়া পুনরায় উঠান যায়, তবে প্রধানতঃ উহার দুই প্রান্তের চারিদিকে লৌহচূর্ণ বেশী পরিমাণে লাগিয়া থাকে। (খ) **দিক্ নির্দেশক** (Directive) **ধর্ম** : তারের দুইটি হুকে (wire stirrup) আল্‌গা পাকের (unspun) রেশম সুতা দ্বারা Magnetite ঝুলাইয়া দাও যাহাতে ইহা সহজভাবে ঘুরিতে পারে। কয়েকবার দুলিবার পর ইহা স্থির হইবে এবং ইহার প্রান্তদ্বয় উত্তর ও দক্ষিণ দিক নির্দেশ করিবে। পুরাকালে নাবিকরা Magnetiteএর এই ধর্মের সাহায্যে দিক্ নির্ণয় করিয়া অকূল সমুদ্রে জাহাজ পরিচালনা করিতেন। সেইজন্য ইহার অপর নাম পথ-প্রদর্শক পাথর (load বা leading stone)। (গ) Magnetiteএর দুই প্রান্ত বিপরীত ধর্মবিশিষ্ট। দুইটি Magnetiteএর দুই সমধর্মী প্রান্ত কাছে আনিলে উহারা পরস্পর বিকর্ষণ (repulsion) করিবে এবং দুই বিপরীতধর্মী প্রান্ত কাছে আনিলে উহারা পরস্পর আকর্ষণ করিবে। এইরূপ ধর্মবিশিষ্ট বস্তুকে **চুম্বক** (Magnet ; Magnetite হইতে এই নাম হইয়াছে) বলে। এইরূপ ধর্মসম্পন্ন প্রাকৃতিক বস্তুকে **প্রাকৃতিক চুম্বক** বলে।

২। **কৃত্রিম চুম্বক** : কয়েক জাতীয় ধাতুতে (metals) চুম্বকের এই

ধর্মগুলি বিভিন্ন প্রণালীতে (প্রণালীগুলি ৬ অনুচ্ছেদে বর্ণিত হইয়াছে) আরোপ করা যায়। এই প্রকারে প্রস্তুত চুম্বককে **কৃত্রিম চুম্বক** (Artificial Magnet) বলে। প্রাকৃতিক চুম্বকগুলির কোন বিশিষ্ট আকার থাকে না এবং উপরোক্ত ধর্মগুলিও খুব ক্ষীণ হয়। কিন্তু কৃত্রিম চুম্বকের বিশিষ্ট আকার থাকে এবং ইহাদের চুম্বকত্ব খুব শক্তিশালী হয়। কৃত্রিম চুম্বকের নিম্নলিখিত আকার হয় :—

(ক) **দণ্ড-চুম্বক** (Bar magnet-A) : ইহা নীরেট আয়তক্ষেত্রিক কিংবা গোলাকার সমপ্রস্থচ্ছেদবিশিষ্ট চুম্বকিত ইস্পাত দণ্ড। এইরূপ দুইটি দণ্ড পাশাপাশি রাখা হয় যাহাতে ইহাদের বিপরীত মেরু N ও S একই দিকে থাকে। দুই প্রান্তে দুইটি লোহার রক্ষক (Keeper) A, B থাকে। ইহাতে মেরুর চুম্বক মাত্রা বা শক্তি নষ্ট হয় না।



১নং চিত্র

(খ) **অশ্বখুরাকৃতি** (Horse shoe-B) **চুম্বক** : দণ্ডচুম্বককে অশ্বের খুরের ন্যায় বাঁকাইয়া ইহা প্রস্তুত হয়। ইহার দুই মেরু একই দিকে পাশাপাশি থাকে।

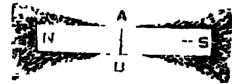
(গ) **সূচী-চুম্বক** (Magnetic-needle-C) : ইহা খুব পাতলা, সরু ও ছোট ইস্পাতের চুম্বকিত পাত। ইহার দুইদিক খুব ছুচলো থাকে। ইহার মধ্যবিন্দু একটি শলাকার (pivot) উপর বসান থাকে, যাহাতে ইহা স্বেচ্ছামত অনুভূমিক তলে ঘুরিতে পারে। কাচের বাক্সের মধ্যে সূচী-চুম্বক রাখিলে উহাকে দিগ্দর্শন (Compass) সূচী বলে। চুম্বকের বিভিন্ন পরীক্ষায় ইহা ব্যবহৃত হয়।

(ঘ) **প্রান্তে বলযুক্ত** (Ball ended-D) **চুম্বক** : সমপ্রস্থচ্ছেদ বিশিষ্ট গোলাকার ইস্পাতদণ্ডের দুইদিকে দুইটি বল থাকে। বলের কেন্দ্রস্থলে চুম্বকের মেরু থাকে।

৩। সংজ্ঞা: (ক) মেরু (Pole):

পরীক্ষা: যে কোন চুম্বককে লৌহচূর্ণের মধ্যে ডুবাইয়া উঠাইয়া লও। চুম্বকের দুই প্রান্তদেশে (regions) লোহার চূর্ণ সর্বাপেক্ষা বেশী পরিমাণে লাগিয়া যায়; দুই প্রান্ত হইতে লোহার চূর্ণের পরিমাণ কমিতে কমিতে মাঝখানে লোহার চূর্ণ প্রায় থাকে না, অর্থাৎ প্রান্তদেশে চুম্বকত্ব (আকর্ষণী বা বিকর্ষণী শক্তি) সর্বাপেক্ষা বেশী হইয়া কমিতে কমিতে মাঝখানে আসিয়া একেবারে শূন্য হয়।

এই প্রান্তদেশকে চুম্বকের **মেরু** বলে। চুম্বককে স্বাধীনভাবে ঝুলাইলে উহার যে মেরু সর্বদাই উত্তর দিক নির্দেশ করে তাহাকে **উত্তর মেরু** (North Pole-N) ও দক্ষিণ দিক-নির্দেশক মেরুকে **দক্ষিণ মেরু** (South Pole-S) বলে। সাধারণতঃ উত্তর ও দক্ষিণ মেরু যথাক্রমে লাল ও নীল রং করা হয়। উপরোক্ত পরীক্ষা হইতে দেখা যায়, চুম্বকের দুই মেরু দুইটি বিন্দু (point) নয়। চুম্বকের দুই প্রান্তের খানিকটা জায়গাকে (region) মেরু বলে। বস্তুতঃ চুম্বকের প্রান্তদেশে কতকগুলি প্রাথমিক (elementary) মেরু থাকে। যে বিন্দু দিয়া এই সকল প্রাথমিক বলের লব্ধি বল অতিক্রম করে তাহাকে প্রকৃত মেরু ধরা হয়। চুম্বকের বেধের অনুপাতে দৈর্ঘ্য যত বেশী হয় মেরু চুম্বকের প্রান্তের দিকে তত সরিয়া যায়। সরু সূচাকৃতি কৃত্রিম চুম্বকের মেরু একেবারে দুই প্রান্তে থাকে, সেইজন্য সূচী-চুম্বক নানারকম চৌম্বক পরীক্ষায় ব্যবহৃত হয়।



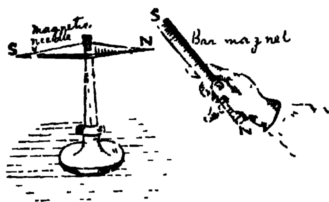
২নং চিত্র

(খ) অক্ষ: দুই মেরু সংযোজক কাল্পনিক সরল রেখাকে (২ নং চিত্রে NS রেখা) **অক্ষ** (Magnetic axis) বলে। চুম্বকের মধ্যবিন্দুতে অক্ষের উপর অঙ্কিত অভিলম্বকে **নিরপেক্ষ রেখা** (Neutral line) বলে। (২ নং চিত্রে AB রেখা)। মধ্য অঞ্চলকে নিরপেক্ষ অঞ্চল বলে।

(গ) মেরু দুইটি চুম্বকের ঠিক দুই প্রান্তে থাকে না। সামান্য ভিতরের দিকে থাকে। অক্ষবরাবর দুই মেরুর দূরত্বকে চুম্বকের **কার্য্যকরী দৈর্ঘ্য** (Effective length) বলে।

(ঘ) স্বাধীনভাবে বিলম্বিত (suspended) চুম্বকের অক্ষের মধ্য দিয়া অঙ্কিত ঊর্দ্ধাধ তলকে (Vertical plane) **চৌম্বক মধ্যরেখা** (Magnetic meridian) বলে। ভৌগোলিক মধ্যরেখা ও চৌম্বক মধ্যরেখা এক নহে।

৪। **দুইটি মেরুর মধ্যে ক্রিয়ার নিয়ম** (Laws of action between poles) : (ক) শলাকার উপর আলম্বিত (supported) একটি স্থির সূচীচুম্বকের N মেরুর কাছে যদি দণ্ড-চুম্বকের S মেরু আস্তে আস্তে আনা যায় তবে সূচীচুম্বকের N মেরু দণ্ড-চুম্বকের S মেরুর কাছে সরিয়া আসিবে। (খ) আর যদি দণ্ড-চুম্বকের N মেরু আস্তে আস্তে আনা যায় তবে সূচীচুম্বকের N মেরু দূরে সরিয়া যাইবে। আবার সূচীচুম্বকের S মেরুর কাছে দণ্ড-চুম্বকের N মেরু লইয়া গেলে উহা আকৃষ্ট হইবে এবং S মেরু লইয়া গেলে উহা বিকৃষ্ট হইবে। এই পরীক্ষা হইতে এই নিয়ম পাওয়া যায় যে, **বিভিন্ন ধর্মী** (unlike) **মেরু পরস্পর আকর্ষণ করে** এবং **সমধর্মী** (like) **মেরু পরস্পর বিকর্ষণ করে।**



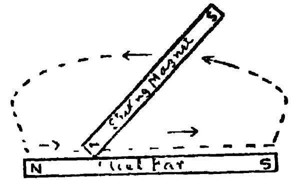
৩নং চিত্র

৫। **লৌহ ও চুম্বকের আকর্ষণ পারস্পারিক** (mutual) : একখণ্ড চুম্বককে সূতায় ঝুলাইয়া উহার নিকট হাতে করিয়া একটি লৌহদণ্ড ধরিলে চুম্বক লৌহদণ্ডের দিকে আগাইয়া আসিবে অর্থাৎ লৌহদণ্ড চুম্বককে আকর্ষণ করিবে। আবার লৌহদণ্ডকে সূতায় ঝুলাইয়া দণ্ডকে চুম্বক উহার নিকট ধরিলে চুম্বকের দিকে লৌহদণ্ড আগাইয়া আসিবে অর্থাৎ চুম্বক লৌহদণ্ডকে আকর্ষণ করিবে অতএব লৌহ ও চুম্বকের আকর্ষণ একতরফা নহে, পারস্পরিক ব্যাপার।

৬। **চুম্বকন প্রণালী** (Methods of magnetisation) : কৃত্রিম চুম্বক প্রধানতঃ দুই প্রকারে তৈয়ার হয়, (১) ঘর্ষণ প্রণালী, (২) তড়িৎ প্রণালী। ঘর্ষণ প্রণালী তিন প্রকার, যথা :—

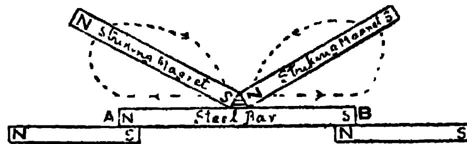
(ক) **একক স্পর্শ প্রণালী** (Method of Single Touch) : পরীক্ষা-

মূলক একখণ্ড পাতলা ইস্পাতখণ্ড (Steel bar) A B (যথা ঘড়ির স্প্রিং অথবা বড় সূচ) টেবিলের উপর শোয়াইয়া রাখ। একটি জোরাল চুম্বকের এক মেরু (মনে কর উত্তর মেরু N) ইস্পাতের A প্রান্তের উপর আনতভাবে (inclined) রাখিয়া ইস্পাত খণ্ডের উপর পিঠ দিয়া ইস্পাতের দৈর্ঘ্য বরাবর ঘষিয়া S প্রান্ত পর্য্যন্ত লইয়া যাও। চুম্বককে তুলিয়া লইয়া পুনরায় N প্রান্ত হইতে পূর্বের মত S প্রান্ত পর্যন্ত ঘষিয়া লইয়া যাও। এইরূপ কয়েকবার কর। ইস্পাতখণ্ডকে উপরনীচে উল্টাইয়া রাখ। দেখিবে যেন প্রান্ত পরিবর্তন না হয়। এই নূতন পিঠেও চুম্বককে কয়েকবার উপরোক্ত প্রণালীতে টানিয়া আন। ইস্পাত খণ্ডটি এখন চুম্বকে পরিণত হইবে। এখানে N প্রান্তে উত্তর মেরু ও S প্রান্তে দক্ষিণ মেরু হইবে। অর্থাৎ যে প্রান্তে ঘর্ষণ আরম্ভ হয় সে প্রান্তে ঘর্ষণকারী (striking) মেরুর একই মেরু এবং যে প্রান্তে ঘর্ষণ শেষ হয় সে প্রান্তে ঘর্ষণকারী মেরুর বিপরীত মেরু উৎপন্ন হইবে।



৪নং চিত্র

(খ) **পৃথক স্পর্শ প্রণালী** (Method of Separate Touch): পরীক্ষামূলক ইস্পাতখণ্ড (Steel bar) A Bকে টেবিলের উপর শোয়াইয়া রাখ। দুইটি একই শক্তি (strength) সম্পন্ন চুম্বকের বিপরীত মেরু N ও S গায়ে গায়ে লাগাইয়া A Bএর মাঝখানে আনতভাবে ধর। এখন চুম্বক



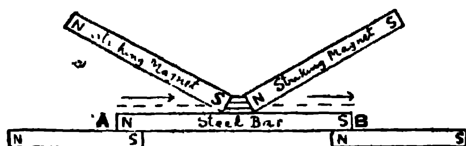
৫নং চিত্র

দুইটিকে ইস্পাতখণ্ডের উপর দিয়া ঘষিয়া বিপরীত দিকে দুই প্রান্তে লইয়া যাও অর্থাৎ একটি চুম্বককে Aর দিকে লইয়া যাও এবং অপর চুম্বককে Bএর দিকে

লইয়া যাও। এখন চুম্বক দুইটিকে উপরে তুলিয়া পুনরায় মাঝখানে লইয়া আন। এইরূপ ভাবে কয়েকবার ঘর্ষণ কর। এখন ইস্পাতখণ্ডকে উন্টাইয়া আবার এইরূপভাবে কয়েকবার ঘর্ষণ কর। এখন দেখ যাইবে ইস্পাতের দুই প্রান্তে ঘর্ষণকারী মেরুর বিপরীত মেরু উৎপন্ন হয়। AB ইস্পাতখণ্ডের দুই প্রান্ত দুইটি চুম্বকের বিপরীত মেরুর উপর রাখিলে ইস্পাতখণ্ডের চৌম্বকত্ব খুব জোরাল হইবে। নীচের চুম্বকের মেরুশক্তি AB চুম্বকের মেরুশক্তির সমান হওয়া দরকার।

(গ) যুগ্ম স্পর্শ প্রণালী (Method of Double Touch) :—ইহা প্রায় 'খ' নিয়মের মত। দুইটি চুম্বকের বিপরীত মেরুকে নির্দিষ্ট দূরত্বে রাখিয়া উহাদের মধ্যে একখণ্ড কর্ক রাখ। এইরূপ অবস্থায় ঘর্ষণকারী (striking) চুম্বক দুইটিকে ইস্পাতখণ্ডের মাঝখানে রাখ।

এখন যুগ্ম চুম্বককে একসঙ্গে A পর্যন্ত ঘষিযা লইয়া যাও। তাবপর চুম্বক দুইটিকে না তুলিয়া বিপরীত দিকে ঘষিতে ঘষিতে B প্রান্তে লইয়া আন এবং



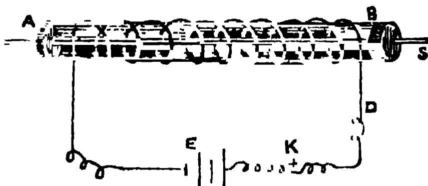
৬নং চিত্র

B প্রান্ত হইতে পুনরায মাঝখানে আন। ইহাতে AB ইস্পাতের অর্ধাংশ সমান বার ঘর্ষিত হইবে, এইরূপে ইস্পাতেব প্রত্যেক পিঠে কয়েকবাব ঘর্ষণ কর। ইস্পাতের প্রান্তে ঘর্ষণকারির মেরুর বিপরীত মেরু উৎপন্ন হইবে।

(২) (ক) তড়িৎ দ্বারা চুম্বকন :—

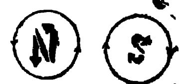
পরীক্ষামূলক ইস্পাতদণ্ড RS কে একটি পাতলা কাঁচের নল AB এর মধ্যে রাখ। কাঁচের নলের উপর দিয়া অন্তরিত (insulated ; তুলা বা রেশম দ্বারা আবৃত অর্থাৎ যাহার মধ্য দিয়া তড়িৎ বাহিরে যায না) লম্বা তামার তার CD জড়াও। তারের শেষ দুই প্রান্ত E ব্যাটারিব শেষ প্রান্ত-বন্ধনের (terminal) সঙ্গে যোগ কর। প্রবল তড়িৎ প্রবাহ তারের মধ্য দিয়া প্রবাহিত হইলে

ইস্পাত স্থায়ী চুম্বকে পরিণত হইবে। যদি দণ্ডটি কাঁচা বা নরম লোহার (soft iron) তৈয়ার হয় তবে যতক্ষণ তড়িৎ প্রবাহ থাকিবে ততক্ষণ লোহার চুম্বকত্ব থাকিবে কিন্তু এই চুম্বকত্ব খুব জোরাল হইবে। ইহাকে **তড়িৎ চুম্বক** (Electro-magnet) বলে।



৭নং চিত্র

(খ) **তড়িৎ চুম্বক ও প্রাকৃতিক বা অন্যান্য কৃত্রিম চুম্বকের পার্থক্য** ঃ—(ক) প্রাকৃতিক বা কৃত্রিম চুম্বকের শক্তি খুব কম। তড়িৎ চুম্বকের শক্তি খুব বেশী। তড়িৎ চুম্বক দ্বারা বড় বড় লোহা এক স্থান হইতে অন্য স্থানে স্থানান্তরিত করা যায়। (খ) তড়িৎ প্রবাহের মাত্রা বাড়াইয়া বা তাবের পাক বাডাইয়া তড়িৎ চুম্বকের বাডান যায়। (গ) প্রাকৃতিক বা কৃত্রিম চুম্বকে চুম্বকত্ব স্থায়ী হয কিন্তু তড়িৎ চুম্বকে যতক্ষণ তড়িৎ প্রবাহ চলে ততক্ষণ চুম্বকত্ব থাকে। (ঘ) **তড়িৎ চুম্বকের মেরু নির্ণয় ঃ** ইস্পাত দণ্ডের যে প্রান্তের দিকে তাকাইলে তড়িৎ প্রবাহকে বামাবর্তে (anticlockwise—ঘড়ির কাঁটার বিপরীত দিকে) ঘুরিতে দেখা যায় সেই প্রান্তে উত্তর মেরু হয়। বিপরীত প্রান্তে দক্ষিণ মেরু হয়। অতএব তড়িৎ প্রবাহের দিক পরিবর্তন করিয়া তড়িৎ চুম্বকের মেরু পরিবর্তন করা যায়। এই নিয়মানুসারে খুরাকৃতি লৌহখণ্ডকে তড়িৎ চুম্বকে পরিণত করিতে হইলে লৌহখণ্ডের দুই বাহুতে বিপরীত দিকে তড়িৎ প্রবাহ করান হয়।



৮নং চিত্র

বর্তমানে তড়িৎ দ্বারা শক্তিশালী কৃত্রিম চুম্বক প্রস্তুত হয়।

(৩) **পার্থিব আবেশ** (Earth's Induction) **দ্বারা চুম্বকন ঃ** পৃথিবীকে একটি বিরাট চুম্বক ধরা হয়। পৃথিবীর ভৌগোলিক **উত্তর** মেরুর নিকট চৌম্বক **দক্ষিণ** মেরু এবং ভৌগোলিক **দক্ষিণ** মেরুর নিকট চৌম্বক

উত্তর মেরু সমান্তরালে থাকে। যদি পৃথিবীর চৌম্বক মধ্যরেখার সমান্তরালে অর্থাৎ চুম্বকের সূচী অবস্থানে একটি কাঁচা লৌহদণ্ডকে কয়েকদিন রাখা হয় তবে পার্থিব চুম্বকের আবেশে লৌহদণ্ড চুম্বকিত হয়। যদি একটি বড় লোহার দণ্ডকে চৌম্বক মধ্যরেখায় বাখিয়া কিংবা লম্বভাবে ঝুলাইয়া রাখিয়া হাতুড়ি দিয়া আঘাত করা যায় তবে পার্থিব চুম্বকের আবেশে লৌহদণ্ড চুম্বকিত হয়।

৭। **উপমেরু** (Consequent Pole): চুম্বকনের সময় যদি ভুল বা অনিয়মিত প্রণালী অবলম্বিত হয় তবে ইস্পাত দণ্ডের দুই প্রান্তে একই মেরু এবং মাঝখানে বিপরীত মেরু কিংবা মাঝখানে অতিরিক্ত স্বাধীন মেরু উৎপন্ন হয়। দুই প্রান্তের মেরু ব্যতীত এইরূপ অনিযমিত অতিরিক্ত মেরুকে **উপমেরু** বলে। উপমেরু বেশীক্ষণ থাকে না। উপমেরু নিম্নলিখিত উপায়ে উদ্ভব হয়:—(ক) যুগ্ম বা পৃথক স্পর্শ প্রণালীতে যদি ইস্পাত দণ্ডের মাঝখানে ঘর্ষণকারী চুম্বকদ্বয়ের দুই মেরু একই প্রকারের (মনে কর দক্ষিণ মেরু) হয় তবে ইস্পাতের প্রান্তে দুইটি উত্তর মেরুর ও মাঝখানে দুইটি দক্ষিণ মেরুর উদ্ভব হয়। (খ) লৌহদণ্ডের বিভিন্ন স্থানে শক্তিশালী চুম্বক দ্বারা স্পর্শ করিলে উপমেরুর উদ্ভব হয়। (গ) লৌহদণ্ডের চারিপাশে তার জড়াইয়া খানিকটা এক দিকে ও খানিকটা বিপরীত দিকে তড়িৎপ্রবাহ করাইলে উপমেরুর উদ্ভব হয়।



৯নং চিত্র

৮। **গ্রহণ-ক্ষমতা** (Susceptibility) ও **ধারণ-ক্ষমতা** (Retentivity): কাঁচা লোহা চৌম্বক পদার্থ দ্বারা শীঘ্র শীঘ্র চুম্বকিত হয় কিন্তু চৌম্বক পদার্থ সরাইয়া লইলে ইহা বেশীক্ষণ চুম্বকত্ব রাখিতে পারে না। ইস্পাত বড় দেরীতে চুম্বকিত হয় কিন্তু ইহা অনেকক্ষণ চুম্বকত্ব রাখিতে পারে। অর্থাৎ কাঁচা লোহার গ্রহণক্ষমতা বা গ্রাহিতা বেশী। ইস্পাতের ধারণ ক্ষমতা বেশী। (পরে এই বিষয় বলা হইয়াছে)

৯। **চুম্বক, চৌম্বক** (Magnetic) **পদার্থ ও অচৌম্বক** (Non magnetic) **পদার্থের পার্থক্য**:—(ক) চুম্বককে স্বাধীনভাবে ঝুলাইলে উহার দুই প্রান্ত প্রায় উত্তর-দক্ষিণে থাকে। চৌম্বক পদার্থকে স্বাধীনভাবে ঝুলাইলে যে

কোন দিকে ইহার দুই প্রান্ত থাকিতে পারে। অর্থাৎ চুম্বকের দুই প্রান্তে নির্দিষ্ট নিজস্ব মেরু থাকে। চৌম্বক পদার্থের অচৌম্বক অবস্থায় কোন নিজস্ব মেরু থাকে না। ইহাতে আবিষ্ট (induced) মেরু উৎপন্ন হয়। (খ) চুম্বক চৌম্বক পদার্থকে আকৃষ্ট করে কিন্তু চৌম্বক পদার্থ যতক্ষণ চুম্বকিত অবস্থায় থাকে ততক্ষণ এইরূপ গুণ থাকে। (গ) একটি চুম্বকের এক মেরু অপর বিলম্বিত চুম্বকের একটি মেরুকে আকর্ষণ করে এবং একটি মেরুকে বিকর্ষণ করে কিন্তু কোন চৌম্বক পদার্থ বিলম্বিত চুম্বকের দুই মেরুকেই আকর্ষণ করে।

(ঘ) অচৌম্বক পদার্থ চুম্বক দ্বারা আকৃষ্ট হয় না। ইহার উপরোক্ত কোন গুণই থাকে না। যথা পিতল, তামা।

একখণ্ড magnetite, একখণ্ড পিতল, একখণ্ড লোহার চৌম্বক ধর্মের পার্থক্য নির্ণয় করিতে হইলে নিম্নলিখিত দুইটি পদ্ধতি অবলম্বন কর :—

(১) চুম্বকের সাহায্যে : (ক) চুম্বকের এক নির্দিষ্ট প্রান্তে লইয়া যাইলে উপরোক্ত যে বস্তুর এক প্রান্ত আকৃষ্ট হয় এবং অপর প্রান্ত বিকৃষ্ট হয় সেই বস্তু magnetite (চুম্বক)। (খ) চুম্বকের দুই প্রান্তের দ্বারা যে বস্তুর যে কোন প্রান্ত আকৃষ্ট হয় তাহা চৌম্বক পদার্থ, যথা লোহা। (গ) যে বস্তুর যে কোন প্রান্ত চুম্বকের কাছে লইয়া গেলে আকৃষ্ট হয় না তাহা অচৌম্বক পদার্থ, যথা পিতল।

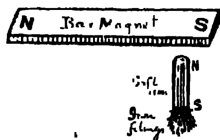
(২) চুম্বকের সাহায্য ব্যতীত : এক একটি বস্তুকে হাতে লও। অপর দুই বস্তুকে টেবিলের উপর রাখ। হাতের বস্তুর এক প্রান্ত টেবিলের উপরের বস্তুর প্রত্যেকটির এক প্রান্ত হইতে অপর প্রান্ত পর্যন্ত সকল স্থানে স্পর্শ না করিয়া খুব নিকটে ধর। (ক) যদি কোথাও আকর্ষণ না হয় তবে হাতের বস্তুটি অচৌম্বক পদার্থ (পিতল)। ইহাকে পৃথক রাখ। (খ) বাকী দুইটি পদার্থের একটিকে হাতে লও এবং একটিকে টেবিলের উপর রাখিয়া উপরোক্ত পরীক্ষা কর। যদি সব স্থানে সমান আকর্ষণ হয় তবে হাতের বস্তুটি চুম্বক এবং টেবিলের বস্তুটি লোহা হইবে। (গ) আর যদি টেবিলের বস্তুটির উভয় প্রান্তে হাতের বস্তুটির এক প্রান্ত অধিক আকৃষ্ট হয় এবং মধ্যস্থানে প্রায়ই আকৃষ্ট হয় না তবে টেবিলের বস্তুটি চুম্বক।

লোহা ও ইস্পাত চৌম্বক পদার্থ। ইহাদিগকে কৃত্রিম চুম্বকে পরিণত

করা যায়। নিকেল কোবাল্টেরও এইগুণ কিয়ৎ পরিমাণে আছে। যে চৌম্বক পদার্থের স্থায়ী মেরু থাকে তাহাকে স্থায়ী **চুম্বক** বলে। আবেশকারী চুম্বক সরাইলেও স্থায়ী চুম্বকের চুম্বকত্ব নষ্ট হয় না। স্থায়ী চুম্বক ইস্পাতের তৈরি হয়। Electromagnet বা কাঁচা লোহার চুম্বকত্ব **অস্থায়ী** (temporary)। আবেশকারী চুম্বক সরাইয়া লইলে বা তড়িৎ প্রবাহ বন্ধ করিলে কাঁচা লোহা বা Electromagnet এর চুম্বকত্ব নষ্ট হয়।

১০। **চৌম্বক আবেশ** (Magnetic Induction) :

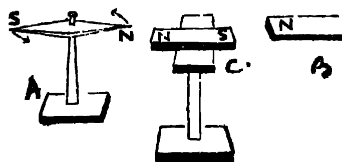
পরীক্ষা : একটি কাঁচা লৌহদণ্ড লৌহচূর্ণের মধ্যে ডুবাও। দেখিবে লৌহচূর্ণ দণ্ডের গায়ে আটকায় না। এখন লৌহদণ্ডের একটু উপরে একটি চুম্বক NS লইয়া আন ; দেখিবে লৌহচূর্ণ লৌহদণ্ডের অপর প্রান্তে লাগিয়া থাকে। চুম্বককে সরাইয়া লইলে লৌহচূর্ণ পড়িয়া যায়। ইহা হইতে বুঝা যায় যে চুম্বকের প্রভাবে লৌহখণ্ড সাময়িক ভাবে চুম্বকিত হয়। এইরূপে একটি চুম্বকের প্রভাবে কোন চৌম্বক পদার্থে সাময়িক চুম্বকত্বের উৎপত্তির ঘটনাকে **চৌম্বক আবেশ** বলে (Magnetic Induction)। লৌহখণ্ডের এই সাময়িক চুম্বকত্বকে **আবিষ্ট চুম্বকত্ব** (Induced Megnetism) বলে।



১০নং চিত্র

১১। **আবিষ্ট মেরুর** (Induced polarity) **প্রকৃতি** :

পরীক্ষা : একটি সূচী-চুম্বক A কে টেবিলের উপর রাখ। একটি চুম্বক B কে সূচী-চুম্বক হইতে কিছু দূরে ধর যাহাতে ইহাদের পরস্পরের মধ্যে কোন প্রভাব না থাকে। মনে কর উহাদের উত্তর মেরু পরস্পর মুখোমুখি থাকে। এইবার একটি নরম লোহার দণ্ড C কে A ও B এর মধ্যে রাখ। এখন দেখিবে যে চুম্বকসূচীর উত্তর মেরু সরিয়া যাইবে। এই পরীক্ষা হইতে প্রমাণ হয় : (ক) B চুম্বকের প্রভাবে C লৌহদণ্ড আবিষ্ট চুম্বকত্ব প্রাপ্ত হয়



১১নং চিত্র

(খ) C লৌহদণ্ডের F প্রান্তে দক্ষিণ মেরু ও E প্রান্তে উত্তর মেরুর উদ্ভব হয়। অর্থাৎ আবেশকারি (inducing) মেরুর নিকটতম প্রান্তে বিপরীত মেরু ও দূরতম প্রান্তে সম মেরু উৎপন্ন হয়।

১২। আবিষ্ট চুম্বকত্বের বিশেষত্ব ঃ

পরীক্ষা ঃ (ক) A চুম্বকের N মেরুর নীচে পর পর কয়েকটি B, C, D পেরেক ঝুলাইয়া দাও। পেরেকগুলি আবিষ্ট চুম্বকত্বের প্রভাবে পর পর লাগিয়া থাকে এবং প্রত্যেক পেরেকই একটি সাময়িক চুম্বকে পরিণত হয়। A চুম্বককে সরাইয়া লইলে সব পেরেক খসিয়া পড়ে।



(খ) প্রথম পেরেকটিকে সরাইয়া লইলে অন্য পেরেকগুলি খসিয়া পড়ে। ইহাতে প্রমাণ হয় যে চুম্বক পেরেকেব গায়ে লাগিলে আবেশের মাত্রা বাড়িয়া যায়।

১২নং চিত্র

(গ) দুই বা ততোধিক চুম্বকের আবেশের ফল = প্রত্যেক চুম্বকের আবেশেব বীজগাণিতিক (algebraic) যোগফল। A, B দুইটি একই শক্তিব বা মাত্রার চুম্বক লও। মনে কর A চুম্বকের N মেরুর নীচে পর পর দশটি একই রকমের পেরেক লাগিয়া থাকে। যদি B চুম্বকের N মেরু A চুম্বকের N মেরুর উপর রাখা যায় তবে আবিষ্ট চুম্বকত্বের পরিমাণ দ্বিগুণ হইবে এবং কুড়িটি পেরেক লাগিয়া থাকিতে পাবে। যদি B চুম্বকের S মেরু রাখা যায় তবে দশটি পেরেক একে একে খসিয়া পড়িবে কারণ মেরু দুইটি বিপরীত ধর্মী। ইহাদেব বীজগাণিতিক যোগফল = 0

১৩। আকর্ষণের পুর্বে আবেশ হয় (Induction precedes attraction);

পরীক্ষা ঃ A চৌম্বক পদার্থের কোন প্রান্ত B চুম্বকের কাছে আন। B চুম্বকের আবেশে A চৌম্বক পদার্থ সাময়িক চুম্বকে পরিণত হয় এবং B চুম্বকেব নিকটতম A চুম্বকের প্রান্তে বিপরীত মেরু উৎপন্ন হয়। আমরা জানি বিপরীত ধর্মী মেরু পরস্পর আকর্ষণ করে। সুতরাং B চুম্বক A চৌম্বক

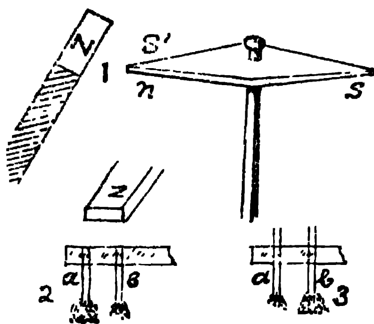
পদার্থকে আকর্ষণ করে এই কারণে A চৌম্বকের যে কোন প্রান্ত B চুম্বক দ্বারা আকৃষ্ট হয়।

১৪। বিকর্ষণ চুম্বকনের অপেক্ষাকৃত নির্ভর যোগ্য প্রমাণ (Repulsion is a surer test of magnetisation) :

পরীক্ষা : মনে কর একটি চৌম্বক পদার্থ A চৌম্বকত্ব প্রাপ্ত হইয়াছে কিনা নির্ণয় করিতে হইবে। A পদার্থটিকে সূতা দিয়া ঝুলাও। একটি B দণ্ড-চুম্বকের যে কোন মেরু A পদার্থের একটি প্রান্তের কাছে লইয়া যাও। এখন যদি পদার্থটি আকৃষ্ট হয় তবে বুঝিতে হইবে পদার্থটি চুম্বক হইতে পারে বা নাও হইতে পারে কারণ **আকর্ষণ** দুইটি ক্ষেত্রে দেখা যায় যথা : (১) কোন চৌম্বক পদার্থ ও চুম্বকের মধ্যে এবং (২) দুইটি বিপরীতধর্মী মেরুর মধ্যে ; এক্ষেত্রে B একটি চুম্বক। সুতরাং Aএর চুম্বকত্ব থাকিতে পারে বা নাও থাকিতে পারে। যদি A ও Bএর মধ্যে **বিকর্ষণ** হয় তবে বুঝিতে হইবে A একটি চুম্বকিত পদার্থ, কারণ বিকর্ষণ দুইটি বিপরীতধর্মী মেরুর মধ্যে হয়। সুতরাং যদি বিকর্ষণ হয় তবে A নিশ্চয়ই চুম্বকিত হইয়াছে।

১৫। মেরুর পরিবর্তন (Reversal of Polarity) :

পরীক্ষা : শক্তিশালী A চুম্বকের N মেরু একটি দুর্বল চুম্বকের *n* মেরুর নিকট আস্তে আস্তে আন। উহাদেব মধ্যে বিকর্ষণ হইবে কিন্তু হঠাৎ খুব কাছে লইলে উহাদের মধ্যের বিকর্ষণ আকর্ষণে পরিণত হইবে। কেন? শক্তিশালী চুম্বকের জোরাল আবেশের ফলে দুর্বল চুম্বকেব এই প্রান্তে S′ আবিষ্ট চুম্বকত্ব উৎপন্ন হয়। আবিষ্ট S′ চুম্বকত্ব নিজস্ব *n* চুম্বকত্বের চেয়ে বেশী হয়। আবিষ্ট চুম্বকত্ব বিপরীত



১৩নং চিত্র

ধর্মী হয়, সুতরাং দুর্বল চুম্বকের এই প্রান্তে মূল n মেরু পরিবর্তিত হইয়া S মেরু উৎপন্ন হয়, সেইজন্য বিকর্ষণের পরিবর্তে আকর্ষণ হয়।

১৬। **আবিষ্ট চুম্বকত্বের মাত্রা** (Degree of Induced Magnetism) : এই মাত্রা নিম্নলিখিত বিষয়ের উপর নির্ভর করে :—(ক) আবেশকারী মেরুর শক্তি, (খ) চুম্বক ও বস্তুর মধ্যে দূরত্ব, (গ) আবিষ্ট বস্তুর প্রকৃতি, (ঘ) দুই বস্তুর মধ্যের মাধ্যম।

১৭। **চুম্বকত্বের বিনাশ** (Destruction of Magnetism) : নিম্নলিখিত উপায়ে কোন চুম্বকের চুম্বকত্ব কমিয়া যায় বা বিনষ্ট হয়; (ক) আঘাতের দ্বারা যেমন মোচড়াইলে বা হাতুড়ির ঘা দিলে, (খ) কোন নির্দিষ্ট উষ্ণতার বেশী গরম করিলে, (গ) পার্থিব চুম্বকের আবেশের দ্বারা, (ঘ) অন্য কোন চুম্বকের আবেশের দ্বারা—দুইটি চুম্বকের একই ধর্মী মেরু পাশাপাশি রাখিলে আবেশের জন্য প্রত্যেক মেরু পরস্পরের উপর বিপরীতধর্মী মেরু উৎপন্ন করিবে। ইহাতে প্রত্যেক মেরুর শক্তি কমিয়া যাইবে। এই দোষ অপনোদনের জন্য দুইটি চুম্বকের শেষে ছোট নরম লোহার দণ্ড রাখা হয়। ইহাকে রক্ষক (keeper) বলে।

প্রশ্ন

1. Describe an experiment to show that attraction between a piece of iron and a magnet is mutual. (C. U. 1920).

2. Describe the various methods of magnetising a piece of soft iron. (C. U. 1911, '12, '15. '17, '29, '42 ; P, U. 1912, '23 ; D. U. 1932).

3. What is the exact magnetic difference among a piece of brass, a piece of soft iron and load stone. (C.U. 1913, '44).

4, Given a compass needle metal bars of soft iron, brass, steel and a steel magnet, how do you determine which is which ? (C. U. 1938).

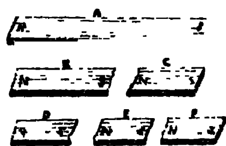
5. In what way can the distribution of magnetism in a magnet be experimentally determined ?

6. You are given two exactly like steel bars, and told that one only is a magnet, With nothing but the bars at your disposal, how will you find out which of the two bars is a magnet ? (C. U. 1947)

আণবিক চৌম্বক তত্ত্ব

Molecular Theory of Magnetism

১৮। একটি মেরু পৃথক করা অসম্ভব (Isolation of a single pole is absurd) : প্রত্যেক চুম্বকের (প্রাকৃতিক বা কৃত্রিম) দুই প্রান্তে দুইটি মেরু থাকে। সুতরাং একটি চুম্বককে ঠিক মাঝখানে ভাঙ্গিলে মনে হইবে প্রত্যেক অংশে মাত্র একটি করিয়া মেরু থাকিবে। কিন্তু প্রকৃতই প্রত্যেক ভগ্ন অংশই দুই প্রান্তে দুইটি বিপরীত ধর্মী মেরুবিশিষ্ট একটি সম্পূর্ণ স্বতন্ত্র চুম্বকে পরিণত হয়। উপরন্তু মূল চুম্বকের মেরু-শক্তি ও ভগ্ন চুম্বকের মেরু-শক্তি সমান হয়। এইরূপ ক্রমাগত ভাঙ্গিতে থাকিলে প্রত্যেকবার ভগ্ন অংশগুলি দুই মেরুবিশিষ্ট নূতন চুম্বকে পরিণত হইবে। কোন প্রকারেই দুই মেরুকে পৃথক করিয়া এক মেরু-বিশিষ্ট চুম্বক পাওয়া সম্ভব নয়। এমন কি যদি ভাঙ্গিতে ভাঙ্গিতে অণুতে পৌছান যায় তবে তখনও প্রত্যেক অণু দুই মেরু-বিশিষ্ট চুম্বকই থাকিবে।

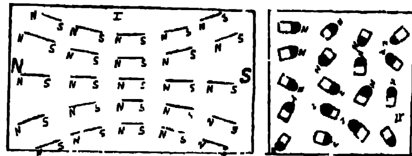


১৪নং চিত্র

এই বিষয়ে একটি সুন্দর পরীক্ষা করা যায় :—একটি পরীক্ষা-নলকে লৌহ চূর্ণে (filings) আলগাভাবে ভর্তি কর। অচুম্বকিত অবস্থায় চূর্ণগুলি এলোমেলোভাবে সজ্জিত থাকে। পরীক্ষা নলের চারিপাশে তার জড়াইয়া·

তারের মধ্য দিয়া বৈদ্যুতিক প্রবাহ চালাইলে চুর্ণগুলি নলের দৈর্ঘ্য বরাবর সজ্জিত হইবে। এই পরীক্ষা হইতে বোঝা যায় অচুম্বকিত অবস্থায় অণুগুলি এলোমেলো অবস্থায় থাকে। চুম্বকিত করার অর্থ অণুগুলিকে বিশেষ সজ্জায় আনা।

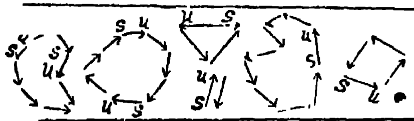
১৭। **আণবিক চৌম্বক তত্ত্ব** ঃ—জার্মান বৈজ্ঞানিক Weber উপরোক্ত পরীক্ষা হইতে চৌম্বকত্বের **আণবিক তত্ত্ব** প্রবর্তিত করেন। এই তত্ত্বের নিম্নলিখিত বৈশিষ্ট্য আছে ঃ—(ক) চৌম্বকত্ব আণবিক ধর্ম। (খ) চৌম্বক পদার্থের প্রত্যেক অণু দুই প্রান্তে দুই বিপরীত ধর্মী মেরু বিশিষ্ট এক একটি স্বতন্ত্র সম্পূর্ণ চুম্বক। ক্ষুদ্র আণবিক চুম্বককে Weber Element বলে। (গ) অচুম্বকিত (unmagnetised) অবস্থায় অণুগুলি ইতস্ততঃ এলোমেলোভাবে বিক্ষিপ্ত থাকে (১৫নং ডানদিকের চিত্র) কিংবা গোলাকার (closed) শ্রেণীবদ্ধ (group) থাকে। ইহার ফলে সমস্ত বস্তুতে কাছাকাছি বিপরীত ধর্মী মেরুগুলি পরস্পরেব প্রভাব নষ্ট করে। সেইজন্য চুম্বকনের পূর্বে বস্তুটির চুম্বকত্বের লক্ষণ দেখা যায় না এবং উহার স্বাধীন মেরু থাকে না। (ঘ) যখন কোন মেরু (মনে কর উত্তর মেরু) কোন চৌম্বক পদার্থের নিকট আনা হয় তখন এই মেরুর আকর্ষণে চৌম্বক পদার্থের অণুগুলি ঘুরিয়া এমন ভাবে একটি রেখায় সারিবদ্ধ ভাবে সজ্জিত হয় যে প্রত্যেক



১৫নং চিত্র

অণুর দক্ষিণ মেরু আকর্ষণকারী মেরুর দিকে মুখ করিয়া থাকে এবং উত্তর মেরু বিপরীত দিকে মুখ করিয়া থাকে। সুতরাং বস্তুর ভিতরে অণুগুলির পরস্পর বিপরীত ধর্মী মেরুগুলি পাশাপাশি থাকে বলিয়া পরস্পবের প্রভাবকে বিনষ্ট করে। কেবল দুইটি প্রান্তের মেরুগুলি পরস্পরের প্রভাবহীন হয়। এই প্রান্তস্থ মেরুগুলিকে **মুক্ত মেরু** (free polarity) বলে। সেইজন্য

দুই প্রান্তের একটি প্রান্তে উত্তর মেরু ও অপর প্রান্তে দক্ষিণ মেরুর উদ্ভব হয়। এইরূপে একটি রেখায় অণুগুলি সজ্জিত হইলে রেখাকে **রৈখিক চুম্বক** বলে। আর দণ্ড-চুম্বক কতকগুলি রৈখিক চুম্বকের সমষ্টি। (ঙ) এই সিদ্ধান্ত অনুসারে দুই মেরু চুম্বকের ঠিক দুই প্রান্তে থাকা উচিৎ। খুব সরু ও দীর্ঘ চুম্বকের মেরু দুই প্রান্তে থাকে কিন্তু মোটা দণ্ড-চুম্বকের দুই মেরু ঠিক প্রান্তে থাকে না। মেরু দুইটি চুম্বকের প্রান্ত হইতে একটু ভিতরের দিকে পার্শ্বে থাকে; কেন? ইহার ব্যাখ্যা স্বরূপ বলা হয় যে রৈখিক চুম্বকগুলি প্রান্তের দিকে পরস্পরের বিকর্ষণের জন্য একটু বাহিরের দিকে বাঁকিয়া গিয়াছে। সেইজন্য মেরুটি ঠিক প্রান্তে না হইয়া পার্শ্বদিকে ছড়াইয়া পড়ে। (চ) চুম্বকিত অবস্থায় অণুগুলি দুঃস্থিত (unstable) সাম্যে থাকে। ইহাদিগকে সুস্থিত (stable) সাম্যে আনিবার জন্য একটি প্রতিরোধ বল (opposing force) ক্রিয়া করে। (ছ) Ewing মতবাদ অনুসারে অচুম্বকিত অবস্থায় কতকগুলি অণু মিলিয়া একটি গোলাকার বদ্ধ **চৌম্বক শিকল** (closed magnetic chain) গঠন করে। এই শিকলে পাশাপাশি দুইটি অণুর বিপরীত মেরু পরস্পর কাটাকাটি করে। শিকলগুলি নানা আকারের হয়। আণবিক চুম্বকের এইরূপ ব্যবস্থাপন খুব সুস্থিত। চুম্বকন প্রণালীতে এই শিকলগুলি ভাঙ্গিয়া যায় এবং অণুগুলি সরল রেখাক্রমে শ্রেণীবদ্ধ হয়। ইস্পাতের চেয়ে নরম লোহায় এই শিকলের অণুগুলির আকর্ষণী শক্তি কম সেইজন্য ষ্টীলকে চুম্বকন করিতে দেরী লাগে।



১৬নং চিত্র

২০। আণবিক তত্ত্বের সাহায্যে কতকগুলি ঘটনার ব্যাখ্যা:

(ক) **আবেশ**: কোন স্থায়ী চুম্বকের N মেরু কোন চৌম্বক পদার্থের কাছে আনিলে চুম্বকের আবেশে প্রত্যেক অণু ঘুরিয়া যায় এবং S মেরুগুলি কম

বা বেশী পরিমাণে N মেরুর দিকে ঘুরিয়া যায়। সুতরাং N মেরুর পদার্থের নিকটতম প্রান্তের অণুগুলির S মেরু N মেরুর দিকে মুখ করিয়া থাকে। কাজেই এই দিকে পদার্থের S মেরু হয়।

(খ) ঘর্ষণে চুম্বকন : ঘর্ষণে আবেশকারী মেরু পদার্থের সম্ভবমত নিকটতম সংস্পর্শে আসে এবং পদার্থের অণুগুলি বেশী ঘুরিতে পারে। সুতরাং ঘর্ষণে আবেশ খুব ভাল হয়।

(গ) **চৌম্বক সংপৃক্তি** (Magnetic Saturation) **:** আবেশকারী চুম্বকের শক্তি বা ঘর্ষণের মাত্রা ক্রমশঃ বাড়াইলে বেশী সংখ্যক অণু সারিবদ্ধভাবে সরলরেখাক্রমে সজ্জিত হইবে সেইজন্য চুম্বকত্বও বাড়িতে থাকিবে। যখন সমস্ত অণু এক রেখায় সজ্জিত হইবে তখন চুম্বকের শক্তি বাড়াইলে বা ঘর্ষণের মাত্রা বাড়াইলে আবিষ্ট চুম্বকত্ব বাড়িবে না। পদার্থের এই অবস্থাকে **চৌম্বক সংপৃক্তি** বলে।

প্রশ্ন

1. What is your reason for the assertion that a magnet cannot be produced which has only one pole ? (C. U. 1930)
2. Give briefly the molecular theory of magnetism. (P. U. 1939)
3. Describe experiments to support that magnetism is a property of the molecules of a magnet. (C. U. 1940)

চৌম্বক ক্ষেত্র (Magnetic Field) ও বল রেখা (Lines of Force)

২১। চৌম্বক বলের নিয়ম (Laws of Force between Magnetic Poles) **:**

(ক) সমধর্মী মেরু বিকর্ষণ করে; বিপরীত ধর্মী মেরু আকর্ষণ করে।

(খ) Coulomb-এর নিয়ম : দুইটি চুম্বক মেরুর মধ্যে যে বল

(আকর্ষণ বা বিকর্ষণ) ক্রিয়া করে তাহার পরিমাণ (magnitude) মেরু-শক্তির বা মাত্রার (strength) গুণফলের সমানুপাতে এবং উভয় মেরুর দূরত্বের বর্গের ব্যস্তানুপাতে পরিবর্তিত হয়।

ব্যাখ্যা ঃ যদি দুইটি মেরুর মধ্যের দূরত্ব অর্ধেক করা হয় তবে উহাদের মধ্যে ক্রিয়াশীল বল চার গুণ হইবে। যদি দূরত্ব দ্বিগুণ করা হয় তবে বল সিকি হইবে। দূরত্ব সমান রাখিয়া যে কোন একটি মেরুর শক্তি দ্বিগুণ করিলে বলও দ্বিগুণ হইবে। যদি দুইটি মেরুরই শক্তি দ্বিগুণ করা যায় তবে বল চারগুণ হইবে। মনে কর দুইটি মেরুর শক্তি যথাক্রমে m ও m' এবং উহাদের মধ্যে দূরত্ব $= d$ এবং চৌম্বক বল $=$ F.

$\therefore$ $F \propto m \times m'$ যখন d ধ্রুবক হয় ... ... (১)

$F \propto \frac{1}{d^2}$ যখন m ও m' ধ্রুবক ... ... (২)

$\therefore$ $F \propto \frac{m \times m'}{d^2}$ $\therefore$ $F = K.\frac{m \quad m'}{d^2}$ ... ... (৩)

(প্রথম খণ্ড ৩৯ অনুচ্ছেদ দেখ)। এখানে $K =$ ধ্রুবক এবং ইহা মাধ্যম ও এককের উপর নির্ভর করে।

এই নিয়মকে **ব্যস্তানুপাতিক বর্গ সূত্র** (Law of Inverse Squares) বলে। এই নিয়মের সত্যতা নিরূপণ পদ্ধতি পরে দেওয়া হইয়াছে।

২২। **মেরুশক্তি বা মাত্রা** (Pole Strength) : দুই চুম্বকের পারস্পরিক আকর্ষণ ও বিকর্ষণ মেরুর চুম্বকত্বের উপর নির্ভর করে। চুম্বকত্ব বর্ধিত হইলে মেরুর আকর্ষণ বা বিকর্ষণ বল বর্ধিত হয়। মেরুর যে ধর্মের প্রভাবে এই বল বাড়ে তাহাকে **মেরুশক্তি** বলে। চুম্বকের প্রান্তস্থিত মুক্ত আণবিক মেরুর সংখ্যা যত বৃদ্ধি পায় মেরু শক্তি তত বৃদ্ধি পায়।

২৩। **একক মাত্রা মেরু** (Unit Pole) **:** দুইটি সমশক্তি সম্পন্ন চুম্বক মেরুকে এক একক ব্যবধানে শুন্য স্থানে বা বায়ুতে স্থাপন করিলে যদি উহাদের পরস্পরের মধ্যে এক একক আকর্ষণ বা বিকর্ষণ বলের উদ্ভব হয় তবে মেরুদ্বয়ের প্রত্যেকের মেরুশক্তিকে **একক মাত্রার মেরু** বলা হয়। C. G. S.

প্রণালীতে যদি দুই মেরুর ব্যাবধান ১ সেঃ মিঃ হয় এবং উহাদের মধ্যের বল এক ডাইন হয় তবে m বা m'কে একক মাত্রার মেরু বলে। এখানে যদি ৩নং সমীকরণে $d=$ ১ সেঃ মিঃ, $m=m'=$ ১, $F=$ ১ ডাইন রাখি তবে $K=$ ১ হয় এবং $F=\frac{m \times m'}{d^2}$ ডাইন হয়।

"কোন মেরুর m একক শক্তি আছে" বলিলে বুঝায় যে উহাকে কোন একক মাত্রার মেরু হইতে একক দূরত্বে রাখিলে উহাদের মধ্যে m ডাইন বলের উদ্ভব হয়।

অঙ্ক : 1 What is the fore exerted between two magnetic poles of strength 33 and 36 at distance of 12 c.m (C. U. 1922)

$$m=৩২, \quad m'=৩৬, \quad r=১২$$

$$\therefore \quad F=\frac{৩২ \times ৩৬}{১২ \times ১২}=৮ \text{ ডাইন।}$$

2. Two north poles repel one another with a force of 2·4 dynes when the distance apart is 2 cm. (a) What will be their distance apart when the force is 3·6 dynes ? (b) Find also the repulsive force when their distance apart is 3 cms.

আমরা জানি $F=\frac{m.m'}{d^2}$

(a) $২\cdot৪=\frac{mm'}{৪}$; $৩\cdot৬=\frac{mm'}{d^2}$ $\quad \therefore d^2=\frac{m.m'}{৩\cdot৬}=\frac{২\cdot৪ \times ৪}{৩\cdot৬}=\frac{৮}{৩}$

$$\therefore d=\sqrt{\frac{৮}{৩}}=\sqrt{\frac{৪}{৯} \times ৬}=\frac{২}{৩}\sqrt{৬}=\frac{২}{৩} \times ২\cdot৪৪=১\cdot৬৩ \text{ সেঃ মিঃ}$$

(b) $F=\frac{m.m'}{৯}=\frac{২\cdot৪ \times ৪}{৯}=১\cdot০৬$ ডাইন

২৪। **চৌম্বক ক্ষেত্র** (Magnetic Field) : কোন চুম্বকের চতুঃপার্শ্বে যে জায়গা (space) চুম্বকের প্রভাব অর্থাৎ চুম্বকের আকর্ষণ বা বিকর্ষণ বল পরীক্ষার দ্বারা অনুভব করা যায় সেই জায়গাকে চুম্বকের **চৌম্বক ক্ষেত্র** বলে। তত্ত্বীয় বিচারে (theoretically) এইরূপ ক্ষেত্র অসীম পর্যন্ত বিস্তৃত হয়। জোরাল চুম্বকের চৌম্বক ক্ষেত্র খুব বেশী দূর বিস্তৃত, দুর্বল চুম্বকের ক্ষেত্র অল্প দূর বিস্তৃত। একটি একক মাত্রা N মেরু বিশিষ্ট সূচী-চুম্বককে চৌম্বক ক্ষেত্রে সরাইলে আকর্ষণ বা বিকর্ষণ বোঝা যায়।

২৫। **চৌম্বক ক্ষেত্রের মাত্রা বা তীক্ষ্ণতা** (Intensity or Strength of Field at a point) : চৌম্বক ক্ষেত্রে কোন বিন্দুতে অবস্থিত পৃথক একক মাত্রা বিশিষ্ট উত্তর-মেরুর উপর কোন চুম্বকেব মেরু যতটা বল প্রয়োগ করে তাহাব পরিমাণকে (ডাইনে প্রকাশিত) সেই বিন্দুতে **চৌম্বক ক্ষেত্রের মাত্রা** বলে। মনে রাখিবে এইরূপ উত্তব মেরুর উপস্থিতি চৌম্বক ক্ষেত্রে কোনরূপ চৌম্বক আলোডন না ঘটায়। কোন বিন্দুতে অবস্থিত একক মাত্রার উত্তর মেরুর উপর যদি প্রযুক্ত বল এক ডাইন হয় তবে ঐ বিন্দুতে চৌম্বক মাত্রাকে **একক চৌম্বক মাত্রা** (Unit Intensity) বা **গস** (Gauss) (আবিষ্কারক বৈজ্ঞানিক Gauss এর নামানুসারে) বলে। চৌম্বক ক্ষেত্রের কোন চুম্বকের মেরু হইতে d দূরত্বে অবস্থিত কোন A বিন্দুতে H গস চৌম্বক মাত্রা বলিলে বুঝাইবে যে A বিন্দুতে একক মেরু রাখিলে চুম্বকের মেরু তাহার উপর ($F = I \times H =$) H ডাইন বলের সহিত ক্রিয়া করিবে। যদি A বিন্দুতে মেরুর শক্তি m একক হয় তবে $H = \frac{m}{d^2}$ এবং $F = mH$ ডাইন হয়। চৌম্বক মাত্রার পরিমাণ (magnitude) ও অভিমুখ আছে অর্থাৎ ইহা একটি Vector রাশি। কোন বিন্দুতে বলের ক্রিয়ার অভিমুখই চৌম্বক মাত্রার অভিমুখ। একটি উত্তর মেরু ঐ বিন্দুতে অবস্থিত হইলে যে অভিমুখে সরিয়া যাইবে চৌম্বক বল সেই অভিমুখে ক্রিয়া করে। পরিমাণ ও অভিমুখ দ্বারা প্রকাশিত চৌম্বক মাত্রাকে **চৌম্বক বল** (Magnetic Force) বলে।

অঙ্ক 1. Two exactly similar poles are placed at a distance of 5 cms apart and the force between them is 16 dynes. Calculate the force in gram-weight when they are 4 c.ms, apart.

মনে কর প্রত্যেক মেরুর শক্তি $= m$ একক ∴ Coulomb এর নিয়মানুসারে বল $F = \frac{m \times m'}{d^২}$ ডাইন ∴ $F = \frac{m^২}{d^২}$ (কারণ $m = m'$)

∴ $১৬ = \frac{m^২}{৫^২}$ ∴ $m = \sqrt{১৬ \times ৫^২} = \pm (৪ \times ৫) = \pm ২০$ একক

অর্থাৎ উভয় মেরুই হয় উত্তর কিংবা দক্ষিণ মেরু হইবে। যখন মেরু দুইটি ৪ সেঃ মিঃ তফাতে থাকে তখন বল $F = \frac{২০ \times ২০}{৪^২} = ২৫$ ডাইন।

আমরা জানি ৯৮১ ডাইন = ১ গ্রাম ওজন, ∴ ১ ডাইন $= \frac{১}{৯৮১}$ গ্রাঃ ওঃ

∴ ২৫ ডাইন $= \frac{২৫}{৯৮১}$ গ্রাঃ ওঃ

2. If the repulsion between two exactly similar poles at a distance of 4 cms is 81 dynes, find the strength of each pole. (All. U. 1918)

$m' = m$, $d = ৪$ সে মিঃ, $F = ৮১$ ডাইন ∴ $৮১ = \frac{m^২}{৪^২}$

∴ m = ৩৬ C. G. S. একক।

২৬। **বল-রেখা** (Lines of Force) : যে কোন চুম্বকের চতুর্দিকে চৌম্বক প্রভাব সৃষ্ট হয় এবং এইরূপ চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রত্যেক বিন্দুতে একটি চৌম্বক বল ক্রিয়া করে। এই বলের পরিমাণ ও অভিমুখ নির্দিষ্ট থাকে। মনে কর কোন দণ্ড-চুম্বকের চৌম্বক ক্ষেত্রের যে কোন বিন্দুতে একটি সর্ববাধাবিমুক্ত বিচ্ছিন্ন (isolated) একক মাত্রার উত্তর-মেরু স্থাপিত আছে। এই উত্তর মেরুর উপর তিনটি চৌম্বক বল ক্রিয়া করিবে—(ক) দণ্ড-চুম্বকের উত্ত

মেরুর বিকর্ষণ বল ; (খ) দণ্ড-চুম্বকের দক্ষিণ মেরুর আকর্ষণ বল ; (খ) পার্থিব চুম্বকের বল। বিচ্ছিন্ন উত্তর মেরু এই তিনটি বলের লব্ধি বলের অভিমুখে সরিয়া যাইবে। যে কোন বিন্দুতে লব্ধি বলের পরিমাণ ও অভিমুখ দণ্ড-চুম্বক হইতে উত্তর মেরুর আপেক্ষিক অবস্থানের উপর নির্ভর করে।

পরীক্ষা ঃ কার্যতঃ একটি বিচ্ছিন্ন উত্তর মেরু পাওয়া অসম্ভব। সুতরাং একটি অতি ক্ষুদ্র চুম্বক যথা কাচপাত্রে রক্ষিত ও কীলকের উপর আলম্বিত সূচী-চুম্বক (compass needle) লইয়া পরীক্ষা কর (১৮নং চিত্র)। এইরূপ সূচী-চুম্বককে চুম্বকের উত্তর মেরু N'র গায়ে কোন বিন্দু A তে রাখ। ইহা দৈর্ঘ্যে খুব ক্ষুদ্র বলিয়া ইহার চৌম্বক অক্ষ (axis) সেই বিন্দুতে লব্ধি বলের অভিমুখে থাকিবে। সূচী-চুম্বকের উত্তর মেরু Nর নীচে একটি পেন্সিলের দাগ দাও ; সূচী-চুম্বককে B অবস্থানে সরাইয়া রাখ যাহাতে দক্ষিণ মেরু S পেন্সিলের দাগের উপর আসে। পুনবায় সূচী-চুম্বকের উত্তর মেরু Nর নীচে পেন্সিলের দাগ দাও। এইরূপ করিয়া যাও যতক্ষণ না সূচী-চুম্বক দণ্ড-চুম্বকের দক্ষিণ মেরুর গাযে H অবস্থানে আসে। পেন্সিলের দাগগুলি যোগ কর। এখন একটি অবিচ্ছিন্ন বক্র রেখা পাওয়া যাইবে। অতএব দেখা যায় যে যদি একটি সর্ববাধামুক্ত বিচ্ছিন্ন উত্তর মেরু পাওয়া যাইত তবে ইহা চৌম্বক ক্ষেত্রের এই বক্র রেখা ববাবর চলিতে থাকিত। এই বক্র রেখাকে **বল রেখা** বলে। সূচী-চুম্বকের অক্ষ এই রেখার যে কোন বিন্দুতে অঙ্কিত স্পর্শক (tangent) অভিমুখে থাকে এবং এই স্পর্শক লব্ধি বলের অভিমুখ প্রকাশ করে। উত্তর মেরুর যে কোন নির্দিষ্ট বিন্দু হইতে একটি বল-রেখা বাহির হইয়া দক্ষিণ মেরুতে আনুসঙ্গিক নির্দিষ্ট বিন্দুতে শেষ হয়। উত্তর মেরু হইতে দক্ষিণ মেরুর দিকে বল রেখায় তীর চিহ্ন দেওয়া হয়।

২৭। বল-রেখার বিশেষত্ব ঃ (Characteristics of Lines of Force) :

বল-রেখার অস্তিত্বের জন্য চৌম্বক ক্ষেত্র সব সময়েই বিকৃত অবস্থায় (in a state of strain) থাকে। বল-রেখার নিম্নলিখিত বিশেষত্ব থাকে :—

(ক) দুইটি রেখা কখনও ছেদ করে না। কারণ ছেদ-বিন্দুতে লব্ধি

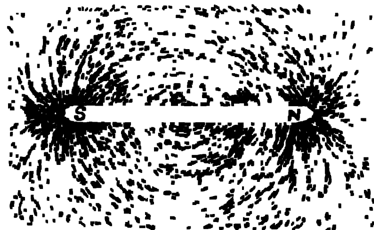
বল বিপরীত অভিমুখে ক্রিয়া করিবে যাহা অসম্ভব। (খ) রেখাগুলি বদ্ধ বক্ররেখা (closed curve) অর্থাৎ ইহারা চুম্বকের ভিতরেও চলিয়া যায়, চুম্বকের বাহিরে যে চৌম্বক ক্ষেত্র চুম্বকের ভিতরও সেই চৌম্বক ক্ষেত্র। (গ) রেখাগুলি চুম্বকের বাহিরে সর্বদা উত্তর মেরু হইতে দক্ষিণ মেরুর দিকে যায়। কিন্তু চুম্বকের ভিতরে দক্ষিণ মেরু হইতে উত্তর মেরুর দিকে যায়। চুম্বকের ভিতরের বলরেখাকে **আবেশ রেখা** (Lines of Induction) বলে। (ঘ) রেখাগুলি বিস্তৃত স্থিতিস্থাপক দড়ির ন্যায় দৈর্ঘ্য বরাবর সংকুচিত হয়। এই গুণের জন্য বিপরীত মেরুর আকর্ষণ হয় (২৩নং চিত্র) (ঙ) রেখাগুলি পার্শ্বভাবে দৈর্ঘ্যের অভিলম্বে পরস্পর চাপ দেয় (২৪নং চিত্র)। এই গুণের জন্য সমধর্মী মেরুর বিকর্ষণ হয়।

২৮। **চৌম্বক ক্ষেত্রের মানচিত্র** (Maps of Magnetic Field) :

চৌম্বক ক্ষেত্রের মানচিত্রে সকল বিন্দুতে লব্ধি বলের অভিমুখ রেখা দ্বারা দেখান হয়। এইরূপ মানচিত্র দুই উপায়ে প্রস্তুত করা যায় :—

(ক) **লৌহচূর্ণ পদ্ধতি** (Iron Filings Method) :

নীতি : কোন চুম্বকের নিকটে লৌহ চূর্ণ রাখিলে প্রত্যেক চূর্ণ চুম্বকের আবেশে চুম্বকিত হয় এবং সূচী-চুম্বকের মত ব্যবহার করে। কিন্তু চূর্ণগুলি কীলকের উপর থাকিতে পারে না বলিয়া কার্ডবোর্ড বা কাচের পাতকে একটু টোকা মারিলে (tapping) উহাদের ঘর্ষণ বল কমিয়া যায় এবং চূর্ণগুলি সূচী-চুম্বকের মত ঘুরিয়া যাইয়া বল রেখা বরাবর অবস্থান করে।



১৭নং চিত্র

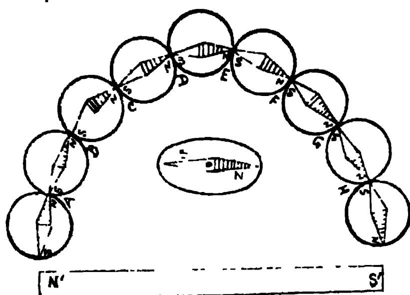
পরীক্ষা : একখণ্ড কাচপাতের উপর একটি চুম্বক অনুভূমিকভাবে রাখ। একটি মসলিনের থলি হইতে লৌহচূর্ণ কাগজের উপর ছড়াইয়া দাও। ইহাতে ছোট গুড়াগুলি কাগজের উপর পড়িবে। এখন পেন্সিল দিয়া কাচের পাতকে আস্তে আস্তে টোকা দাও। দেখিবে লৌহচূর্ণগুলি

কতকগুলি বক্র রেখা বরাবর অবস্থিত হয়। (১৭নং চিত্র)। স্থায়ী মানচিত্র লইবার জন্য একখণ্ড কাগজ গলিত মোমের (paraffin wax) মধ্যে ডুবাইয়া শীতল করিয়া কাচ পাতের উপর রাখ। যখন চূর্ণগুলি স্থির হইয়া রেখা বরাবর অবস্থান করে তখন কাগজ খণ্ডকে একটু গরম কর। ইহাতে মোম গলিয়া যায়। চূর্ণগুলি গলিত মোমের মধ্যে ধসিয়া যায়। কাগজকে না নাড়িয়া মোমকে শীতল হইতে দাও। ইহাতে চূর্ণগুলি স্থায়ীভাবে মোমের মধ্যে স্থির হইয়া বসিয়া যায়। কাগজের উপর চুম্বকের সীমারেখা (outline) টান।

(খ) সূচী-চুম্বক পদ্ধতি (Compass Needle Method):

নীতি: যে অভিমুখে সূচী-চুম্বকের অক্ষ স্থির থাকে তাহা তিনটি বলের লব্ধির অভিমুখ হয়।

পরীক্ষা: একটি কার্ডবোর্ডের উপর একখণ্ড কাগজ আট। কাগজের উপর একটি দণ্ডচুম্বক N'S' অনুভূমিক ভাবে রাখিয়া তাহার সীমানা পেন্সিল দিয়া টান। ১৮নং চিত্রের মত উত্তর মেরুর নিকট একটি সূচী-চুম্বক রাখ। সূচী-চুম্বক কয়েকবার দুলিবার পর A অবস্থানে স্থির হইলে উহার উত্তর ও দক্ষিণ মেরুর ঠিক নীচে কাগজের উপর দুইটি পেন্সিলের দাগ (N ও S) দাও। সূচী-চুম্বককে এখন B অবস্থানে সরাও যাহাতে ইহার দক্ষিণ মেরু A অবস্থানের উত্তর মেরুর নীচের পেন্সিলের দাগ N এর উপর আসে। B অবস্থানের উত্তর মেরুর নীচে N দাগ দাও। এইরূপ করিয়া যাও যতক্ষণ না সূচীচুম্বক দণ্ডচুম্বকের দক্ষিণ মেরুর নিকট না আসে। এইবার দাগগুলি রেখা দ্বারা যোগ করিলে একটি নিরবিচ্ছিন্ন বক্র রেখা বা বল-রেখা পাওয়া যাইবে।



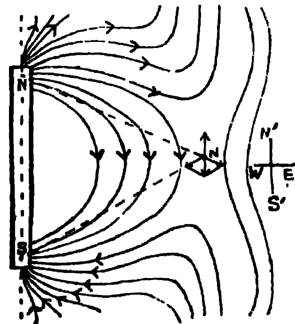
১৮নং চিত্র

এইরূপ উত্তর মেরুর নিকট আর একটি বিন্দু হইতে আরম্ভ করিয়া আর একটি বল-রেখা টান। এইরূপ চৌম্বক ক্ষেত্র ব্যাপিয়া সমস্ত বল-রেখা টান। এইরূপে চৌম্বক ক্ষেত্রের সমস্ত মানচিত্র পাওয়া যায়! মানচিত্রে নিম্নলিখিত বিষয়গুলি লক্ষ্য কর—(ক, রেখাগুলি চুম্বকের বাহিরে উত্তর মেরু হইতে বাহির হইয়া দক্ষিণ মেরুতে শেষ হইয়াছে। (খ) কতকগুলি রেখা চুম্বকের পার্শ্বে শেষ হয়। (গ) মানচিত্রে কেবল অনুভূমিক তলের বল-রেখা দেখান হইয়াছে। কিন্তু প্রকৃত পক্ষে চুম্বকের চারিধারে সকল তলেই বল-রেখা বিস্তৃত হয়।. দুই মেরুর দিকে রেখাগুলি খুব ঘন। (ঘ) প্রথম পদ্ধতিতে রেখাগুলির আকার পাওয়া যায়, অভিমুখ পাওয়া যায় না। (ঙ) দুর্বল চুম্বকের পক্ষে প্রথম পদ্ধতি সুবিধাজনক নহে। (চ) ক্ষেত্রের যেখানে চৌম্বক বল জোরাল সেখানে রেখাগুলি খুব গায়ে গায়ে থাকে; ক্ষেত্রের যেখানে চৌম্বক বল কম সেখানে রেখাগুলি ফাঁক ফাঁক। সুতরাং বল-রেখা দ্বারা চৌম্বক ক্ষেত্রের বলের মাত্রা (intensity) ও অভিমুখ দুইই প্রকাশ করা যায়।

২৯। পার্থিব চুম্বকের ক্ষেত্র (Earth's Magnetic Field):

নিকটে কোন চুম্বক না রাখিয়া সূচী-চুম্বক দ্বারা কেবল পার্থিব চুম্বকের অনুভূমিক বলের দরুণ বল-রেখা অঙ্কন করা যায়। দেখা যাইবে যে বলরেখাগুলি সমান্তরাল এবং ভৌগোলিক দক্ষিণ হইতে উত্তর দিকগামী। সুতরাং সীমাবদ্ধ জায়গায় পার্থিব চুম্বকের ক্ষেত্রকে সর্বত্র সমবল সম্পন্ন ধরা হয়। ইহা বিশেষভাবে মনে রাখিবে।

৩০। উদাসীন বিন্দু (Neutral Points): পৃথিবী একটি চুম্বক সুতরাং পৃথিবীর চারিপাশে সর্বত্রই একটি পার্থিব চৌম্বকক্ষেত্র বর্তমান। যদি অনুভূমিক টেবিলের উপর একটি সূচী-চুম্বক N রাখিয়া কোন দণ্ড-চুম্বক NS উহার কাছে আনা যায় তবে সূচী-চুম্বকটি দণ্ড-চুম্বক ও পার্থিব চুম্বক দ্বারা প্রভাবিত হয় এবং এই চৌম্বক ক্ষেত্র পার্থিব চৌম্বক বলের অনুভূমিক উপাংশ



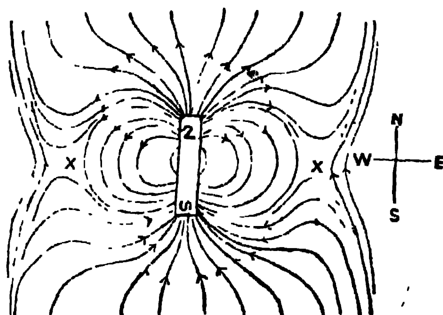
১৯নং চিত্র

(horizontal component) ও দণ্ড-চুম্বকের সম্মিলিত প্রভাবে সৃষ্ট হয়। দণ্ড-চুম্বকের নিকটে পার্থিব চুম্বকের প্রভাব খুব নগণ্য। কিন্তু দণ্ড-চুম্বক হইতে যত দূরে যাওয়া যায় ততই পার্থিব চুম্বকের প্রভাব বাড়িতে থাকে এবং দণ্ড-চুম্বকের প্রভাব কমিতে থাকে। কাজেই দণ্ড-চুম্বকের কাছের বলরেখাগুলি কার্যতঃ দণ্ড-চুম্বকের প্রভাবের জন্য সৃষ্ট হয়। আরও কিছু দূরের রেখাগুলি প্রধানতঃ পার্থিব চুম্বকের প্রভাবের জন্য সৃষ্ট হয়। দণ্ড-চুম্বকের মধ্যবিন্দু হইতে সমান দূরত্বে দুই পার্শ্বে দুইটি বিন্দু পাওয়া যায় যেখানে দণ্ড-চুম্বকের দরুণ বল ও পার্থিব চুম্বকের দরুণ অনুভূমিক বল সমান ও বিপরীতমুখী হয় সুতরাং ইহাদের লব্ধি বল শূন্য হয়। এই দুই বিন্দুতে কোন সূচী-চুম্বককে যে কোন অভিমুখে রাখিলে তাহা সেই অবস্থানেই স্থির থাকে। এই দুই বিন্দুকে **বল-নিরপেক্ষ** বা **উদাসীন বিন্দু** বলে। খুব সরু সূচী-চুম্বককে চৌম্বক ক্ষেত্রে নানা অবস্থানে রাখিয়া যেখানে প্রায় ইহা যে কোন অভিমুখে থাকে তাহাই উদাসীন বিন্দু।

৩১। বিভিন্ন অবস্থানে স্থাপিত দণ্ড-চুম্বকের ক্ষেত্র, বলরেখা ও উদাসীন বিন্দু:

(ক) দণ্ড-চুম্বক চৌম্বক মধ্যরেখায় এবং উত্তর মেরু উত্তর দিকে স্থাপিত হইলে যে ক্ষেত্র চৌম্বক পাওয়া যায় তাহা ২০নং চিত্রে দেখান হইল।

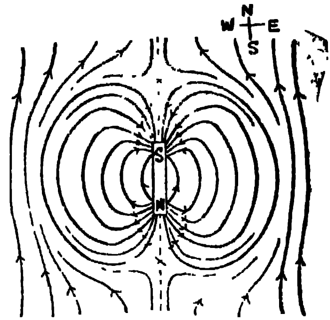
এখানে চুম্বকের অক্ষ বরাবর প্রত্যেক বিন্দুতে পার্থিব চুম্বকের ও দণ্ড-চুম্বকের বল একই অভিমুখে হয়। সুতরাং অক্ষ বরাবর লব্ধি ক্ষেত্র খুব বলশালী হয় কিন্তু দুই পার্শ্বে দুই চুম্বকের বল বিপরীতমুখী হয়।



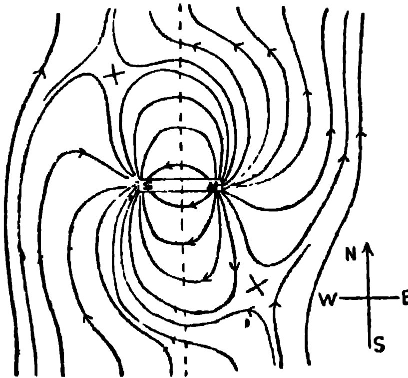
২০নং চিত্র

সুতরাং দুইটি উদাসীন বিন্দু (× ×) দণ্ড-চুম্বকের অক্ষের মধ্য-বিন্দুর মধ্য দিয়া অক্ষের সমকোণে অঙ্কিত রেখার উপর থাকে।

(খ) উত্তর মেরু দক্ষিণ দিকে স্থাপিত ঃ ২১নং চিত্রে ইহার চৌম্বক ক্ষেত্র দেখান হইয়াছে। এখানে দুইটি ক্ষেত্র অক্ষ বরাবর বিপরীতমুখী সুতরাং উদাসীন বিন্দু (× ×) অক্ষ বরাবর অঙ্কিত রেখার উপর থাকে।



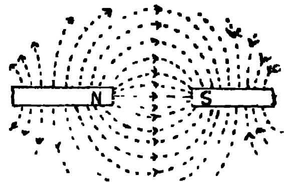
২১নং চিত্র



২২নং চিত্র

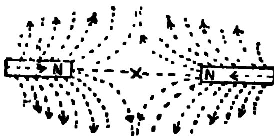
(গ) চৌম্বক মধ্যরেখার সমকোণে দণ্ডচুম্বক স্থাপিত, অর্থাৎ অক্ষ পূর্ব-পশ্চিমে স্থাপিত। এখানে উদাসীন বিন্দু অক্ষের সহিত ৪৫° কোণে আনত রেখার উপরে থাকে।

(ঘ) দুইটি বিপরীত মেরু কাছাকাছি ঃ এখানে ক্ষেত্রের মধ্যখানের রেখাগুলি উত্তর মেরু হইতে দক্ষিণ মেরুতে যায়। (২৩নং চিত্র)



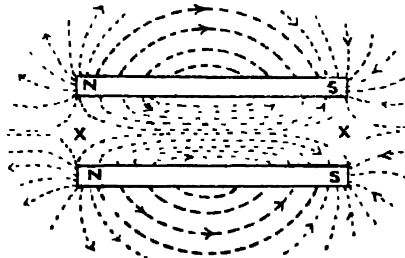
২৩নং চিত্র

(ঙ) দুই সমমেরু কাছাকাছি : এখানে প্রত্যেক মেরু হইতে উদ্ভূত রেখাগুলি পরস্পব হইতে দূরে সরিয়া যায়। মাঝের (সাদা) জায়গায় বল খুব কম অনুভূত হয়। (২৪নং চিত্র)



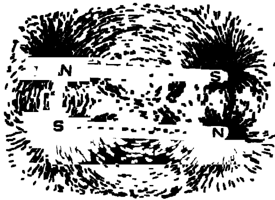
২৪নং চিত্র

(চ) দুই সমান্তরাল দণ্ড চুম্বকের সম মেরু কাছাকাছি :—দুই মেরুর ঠিক মধ্যবর্তি বেখাগুলি ২৫নং চিত্রের মত। দুই চুম্বকেব মাঝখানের রেখাগুলি স্থানাভাবেব জন্য খুব কাছাকাছি আসে।



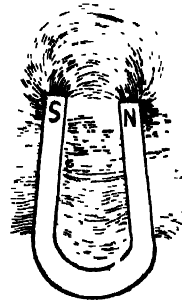
২৫নং চিত্র

(ছ) দুই সমান্তরাল দণ্ড-চুম্বকের বিপরীত মেরু কাছাকাছি : দুই চুম্বকের মাঝখানেব জায়গায় প্রত্যেক মেরুর দরুণ বলরেখাগুলি বিপরীতমুখী হয় সুতরাং ইহারা অনেকেই লুপ্ত হইযা যায়। প্রান্তের বেখাগুলি অশ্বখুরাকৃতি চুম্বকের রেখার মত হয়।



২৬নং চিত্র

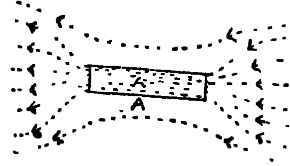
(জ) অশ্বখুরাকৃতি চুম্বকের দুই মেরুর মধ্যের রেখাগুলি খুব ঘন ও বাঁকা, অন্যত্র রেখাগুলি সরল ও ফাঁক ফাঁক।



২৭নং চিত্র

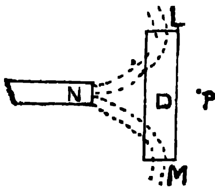
৩২। চৌম্বক ক্ষেত্রে কাঁচা বা নরম লোহার আচরণ (Behaviour of soft iron in a magnetic field) : দুই দণ্ড চুম্বকের

বিপরীত মেরুর মধ্যে একটি নরম লৌহখণ্ড রাখিলে বলরেখার অবস্থানের পরিবর্তন হয়। বলরেখাগুলি **অধিক সংখ্যায়** বায়ু হইতে লোহার একপ্রান্তে প্রবেশ করিয়া অপর প্রান্ত দিয়া বাহির হয়। সুতরাং লোহা ও দুই মেরুর মধ্যের জায়গায় চৌম্বক মাত্র বাড়িয়া যায়। ইহা হইতে বোঝা যায় যে অচৌম্বক পদার্থ যথা বায়ু অপেক্ষা চৌম্বক পদার্থ যথা লোহার চৌম্বক বল-রেখা পরিবহন ক্ষমতা বেশী। এইরূপ হয় কেন? দণ্ড-চুম্বকের দুই বিপরীত মেরুর আবেশের (induction) জন্য লৌহখণ্ডের দুই দিকে বিপরীত আবিষ্ট মেরুর উদ্ভব হয়। বল রেখার সংখ্যা আবেশের পরিমাণের উপর নির্ভর করে।



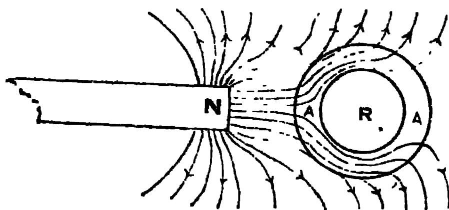
২৮নং চিত্র

৩৩। **চৌম্বক পর্দা** (Magnetic Screen) : (ক) ২৯নং চিত্রের মত দণ্ড-চুম্বকের N মেরুর ও P বিন্দুর মধ্যে একখণ্ড D নরম লোহা রাখিলে N মেরু হইতে বলরেখা D লোহার মধ্যে ঢুকিয়া লোহার উপর ভাগ L ও নিম্ন ভাগ M দিয়া বাহির হইয়া যায় কিন্তু বায়ুর মধ্য দিয়া P স্থানে আসে না। (খ) ৩০নং চিত্রের মত দণ্ড-চুম্বকের মেরুর কাছে একটি লোহার আংটা বা চোঙ R রাখা যায় তবে বল রেখাগুলি আংটার লোহার মধ্যে ঢুকিয়া আংটার লোহার মধ্য দিয়া বাহির হইয়া যাইবে। আংটার মধ্যে বায়ুপূর্ণ খালি জায়গা Rতে কোন বল-রেখা যাইবে না এবং এখানে কোন চৌম্বক শক্তি অনুভূত হইবে না। আংটার ভিতরে R স্থানে একটি সূচী-চুম্বক রাখিলে উহা নিকটস্থ কোন দণ্ড-চুম্বকের দ্বারা প্রভাবান্বিত হইবে না সুতরাং নরম লোহার আংটা ভিতরের R জায়গাকে চৌম্বক প্রভাব হইতে মুক্ত রাখে। এইজন্য এই নরম লোহার আংটাকে **চৌম্বক পর্দা** বলে। জাহাজের গ্যালভ্যানোমিটারকে নরম লোহার চোঙের মধ্যে রাখিয়া চৌম্বক প্রভাব



২৯নং চিত্র

হইতে মুক্ত রাখা হয়। এই কারণে ডায়নামো ঘরে চুম্বকের প্রভাব হইতে ঘড়িগুলিকে রক্ষা করিবার জন্য ঘড়িগুলির উপর একটি নরম লোহার আবরণ দেওয়া হয়। যদি চৌম্বক মধ্যরেখায় অবস্থিত দণ্ড-চুম্বকের উত্তরে একটি সূচীচুম্বক রাখিয়া উহাদের মধ্যে নরম লোহার একটি মোটা পাত রাখা যায় তবে সূচী-চুম্বক দণ্ড-চুম্বকের প্রভাব হইতে সম্পূর্ণ মুক্ত থাকিবে। কিন্তু একটি নরম লোহার দণ্ড সূচীচুম্বক ও দণ্ড-চুম্বক সংযোজক রেখা বরাবর রাখিলে সূচী-চুম্বকের উপর দণ্ড-চুম্বকের প্রভাব খুব বৃদ্ধি পাইবে।



৩০নং চিত্র

৩৪। **আবেশ রেখা** Lines of Induction): কোন চৌম্বক পদার্থের মধ্য দিয়া যে বলরেখা অতিক্রম করে তাহাকে **আবেশ রেখা** বলে কিন্তু বল-রেখা বলে না। চৌম্বক পদার্থের মধ্য দিয়া আবেশ রেখা দক্ষিণ মেরু হইতে উত্তর মেরুর দিকে যায়।

৩৫। **প্রবেশ্যতা** (Permeability): আমরা পূর্বে দেখিয়াছি যে বাতাস অপেক্ষা নরম লোহার চৌম্বক বল-রেখা পরিবহন ক্ষমতা বেশী অর্থাৎ বায়ুর জায়গায় নরম লোহা রাখিলে নরম লোহার ভিতর দিয়া বেশী বলরেখা অতিক্রম করিবে। মনে কর H=চৌম্বক মাত্রা অর্থাৎ ১ ঘন সেঃ মিঃ চৌম্বক ক্ষেত্রের মধ্য দিয়া H সংখ্যক বলরেখা অতিক্রম করে এবং মনে কর ১ ঘন সেঃ মিঃ নরম লোহার মধ্য দিয়া B সংখ্যক আবেশ রেখা অতিক্রম করে। B ও H এর অনুপাতকে **প্রবেশ্যতা** বলে। ∴ লোহার প্রবেশ্যতা $\mu = \frac{B}{H}$; এখানে H অপেক্ষা B বেশী সুতরাং প্রবেশ্যতা একের বেশী হয়।

৩৬। **চৌম্বক গ্রাহীতা** (Susceptibility) : মনে কর কোন চৌম্বক পদার্থের প্রতি একক ক্ষেত্রের মেরুশক্তি $=I$ আর ক্ষেত্রের চৌম্বক মাত্রা $=H$; I ও H-এর অনুপাতকে **চৌম্বক গ্রাহীতা** বলে। ∴ চৌম্বক গ্রাহীতা $=K=\frac{I}{H}$ । নরম লোহার চৌম্বক গ্রাহীতা খুব বেশী এবং ইস্পাতের চৌম্বক গ্রাহীতা খুব কম।

৩৭। **ধারণক্ষমতা** (Retentivity) : চৌম্বক প্রভাব সরাইয়া লইলে প্রত্যেক একক ক্ষেত্রে যে মেরুশক্তি অবশিষ্ট থাকে তাহাকে **ধারণক্ষমতা** বলে। নরম লোহা যদিও খুব তাড়াতাড়ি পূর্ণমাত্রায় চুম্বকিত হয় তথাপি চুম্বক প্রভাব দূর করিলে ইহা বেশী চুম্বক শক্তি ধারণ করিতে পারে না কিন্তু যদিও ইস্পাত বেশী চুম্বক শক্তি গ্রহণ করিতে পারে না কিন্তু যতটুকু গ্রহণ করে চুম্বক প্রভাব বিদূরিত হইলেও তাহার অধিকাংশই রাখিতে পারে অর্থাৎ যে পদার্থের চুম্বক গ্রহণ ক্ষমতা (susceptibility) বেশী তাহার চুম্বক ধারণ ক্ষমতা (retentivity) কম।

পরীক্ষা : নরম লোহা ও ইস্পাতের একই মাপের দুইটি সরু তার a ও b লও। লোহাচূরের মধ্যে ইহাদিগকে ডুবাও। ইহাদের প্রান্তে লোহাচুর আকৃষ্ট হইবে না। এই দুইটি তারের এক প্রান্ত মোম দিয়া একটি কাঁচের পাতের নীচের দিকে স্থিরভাবে আটকাও। কাঁচের পাতের উপর একটি শক্তিশালী চুম্বক M আন। তারের অপর প্রান্ত লোহাচূরের মধ্যে ডুবাইয়া তুলিয়া লও। দেখিবে ইস্পাত অপেক্ষা নরম লোহায় বেশী লোহাচুর আকৃষ্ট হইয়াছে অর্থাৎ নরম লোহার চুম্বক শক্তি গ্রহণের ক্ষমতা বেশী। এইবার উপরের চুম্বককে সরাইয়া লও। দেখিবে নরম লোহার তার হইতে সমস্ত লোহাচুরই খসিয়া পড়ে কিন্তু ইস্পাতের তার হইতে অল্প লোহাচূর খসিয়া পড়ে অর্থাৎ ইস্পাতের ধারণক্ষমতা বেশী। (১৩ নং চিত্র 2 ও 3)

৩৮। **নিগ্রহশীলতা** (Co-ercivity) : অনিয়মিত ব্যবহারে কিংবা বিপরীতদিকে চুম্বক শক্তি প্রয়োগের পরও চুম্বকত্ব ধারণের ক্ষমতাকে

নিগ্রহশীলতা বলে। যে চুম্বকশক্তি বিপরীত অভিমুখে প্রযুক্ত পদার্থের সমস্ত চুম্বকত্ব বিনষ্ট হয় তাহাকে **নিগ্রহবল** বলে।

৩৯। **Para-, Dia-এবং Ferro magnetic Substances:-** তড়িৎ চুম্বকের আবিষ্কারের পর দেখা গিয়াছে যে শুধু লোহা, নিকেল ও কোবাল্ট নয় পরন্তু সকল পদার্থই খুব জোরালো চুম্বক দ্বারা কম-বেশী প্রভাবিত হয়। চৌম্বক গুণানুসারে পদার্থগুলিকে তিন শ্রেণীতে বিভক্ত করা যায়; যথা:—

(ক) যে সকল পদার্থ চুম্বকদ্বারা ক্ষীণ ভাবে আকৃষ্ট হয় তাহাদিগকে Para-magnetic পদার্থ বলে। এই সকল পদার্থকে ছোট দণ্ডের (bars) আকারে কাটিয়া দুইটি তড়িৎ চুম্বকের দুইটি বিপরীত মেরুর মধ্যে রাখিলে ইহাদের বৃহত্তর অক্ষ মেরুসংযোজক রেখার সমান্তরালে থাকে। প্লাটিনাম, ম্যাঙ্গানীজ প্রভৃতি এই শ্রেণীর অন্তর্গত।

(খ) যে সকল পদার্থ ক্ষীণভাবে চুম্বক দ্বারা বিকৃষ্ট হয় তাহাকে Dia-magnetic পদার্থ বলে। ইহাদিগকে ছোট দণ্ডের আকারে কাটিয়া তড়িৎ চুম্বকের মেরুর মধ্যে রাখিলে ইহাদের দীর্ঘতর অক্ষ দুই মেরুসংযোজক রেখার উপর অভিলম্ব ভাবে অবস্থিত হয়। তামা, সোণা, রূপা, পারা, কোহল, হাইড্রোজেন এইরূপ দ্রব্য। তরল পদার্থকে একটি ঘড়ির কাচে (watch glass) বা কোন U-নলে রাখিয়া ঐ কাচ বা নলের এক বাহুকে দুই শক্তিশালী মেরুর মধ্যে রাখিলে Paramagnetic তরলের বেলায় উহার তল (meniscus) একটু উপরে উঠিবে এবং Diamagnetic তরলের বেলায় উহার তল একটু নীচে নামিবে।

Paramagnetic ও Diamagnetic পদার্থের প্রবেশ্যতা যথাক্রমে একের (unity) চেয়ে বেশী ও কম হয়। সুতরাং প্রথম পদার্থে আবেশ-রেখা খুব ঘনীভূত হয়।

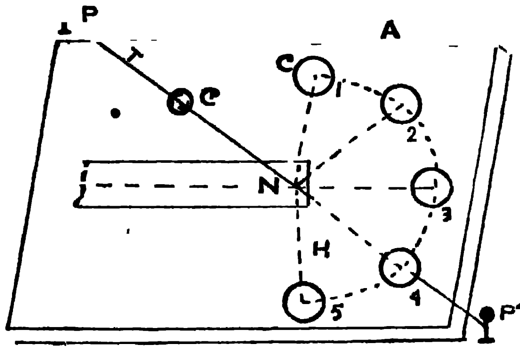
(গ) যে সকল পদার্থ খুব প্রবলভাবে চুম্বক দ্বারা আকৃষ্ট হয় এবং চুম্বক সরাইয়া লইলেও যাহাদের চুম্বকত্ব নষ্ট হয় না তাহাদিগকে Ferro-magnetic পদার্থ বলে। লোহা, নিকেল, কোবাল্ট এইরূপ পদার্থ। স্থায়ী চুম্বক নির্মাণে এই সকল পদার্থ ব্যবহার হয়। এই সকল পদার্থের প্রবেশ্যতার

মান খুব বেশী ; ইস্পাতের আট হাজার, নরম লোহার দুই হাজার, নিকেলের তিন শত। একটি নির্দিষ্ট উষ্ণতার উপরে উত্তপ্ত হইলে এই সকল পদার্থ Paramagnetic পদার্থে রূপান্তরিত হয়। এই উষ্ণতাকে Curie Point বলে।

৪০। **দণ্ড-চুম্বকের মেরুর অবস্থান নির্ণয়** (Localisation of the poles of a magnet).

নীতি ঃ আণবিক মতবাদ অনুসারে চুম্বকের সর্বশেষ প্রান্তেই মেরু থাকা উচিত। দীর্ঘ এবং সরু চুম্বকের শেষ প্রান্তেই মেরু থাকে। কিন্তু মোটা দণ্ড-চুম্বকে শেষ প্রান্তের কাছাকাছি দুইটি অঞ্চলে মেরু থাকে। সেইজন্য নিম্নলিখিত উপায়ে এই মেরুবিন্দুর অবস্থান বাহির করা হয়। কোন সূচী-চুম্বক চৌম্বক মধ্যরেখায় থাকিলে সূচীর উপর পার্থিব চুম্বকের দ্বন্দ্বের (couple) ক্রিয়ার কোন ফল হয় না।

পদ্ধতি ঃ (ক) টেবিলের উপর একটি কার্ডবোর্ড A রাখ। কার্ডবোর্ডের উপর কাগজ আঁট। কাগজের উপব সূচী-চুম্বক রাখ। বোর্ডের নিকটে অন্য



৩১নং চিত্র

কোন চুম্বক রাখিবে না। টেবিলের উপর দুইটি বড় পিন PP' এমন জায়গায় লম্বভাবে পোঁত যাহাতে উহাদের মাথায় একটি সূতা T দিয়া যোগ

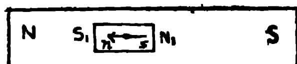
করিলে সুতাটি C সূচীর স্থির অবস্থানে সূচীর সমান্তরালে থাকে। সুতরাং সুতাটি পরীক্ষাস্থানের চৌম্বক মধ্যরেখা নির্দেশ করে। (খ) সূচী-চুম্বককে একটু দূরে সরাইয়া রাখ। একটি দীর্ঘ দণ্ড-চুম্বক N কাগজের উপর মাঝখানে রাখিয়া উহার সীমারেখা অঙ্কন কর। (গ) সূচী-চুম্বককে দণ্ড-চুম্বকের এক প্রান্তের (মনে কর N-প্রান্তের) কাছে রাখিয়া (1 অবস্থান) স্থির হইতে দাও। সূচী-চুম্বকের উপর দণ্ড-চুম্বকের দূরবর্তী S-প্রান্তের প্রভাব খুব কমই থাকে। সুতরাং সূচী-চুম্বকটির দুইটি মেরু দুইটি দ্বন্দ্বের ক্রিয়ার অধীন হইবে—একটি পার্থিব চুম্বকের দরুণ, আর একটি দণ্ড-চুম্বকের নিকটবর্তী N মেরুর দরুণ। সেইজন্য স্থির অবস্থায় সূচী-চুম্বক চৌম্বক মধ্যরেখায় না থাকিয়া উপরোক্ত দুই বলের লব্ধির অভিমুখে থাকে। (ঘ) এইবার বোর্ডকে ঘুরাও যতক্ষণ না সূচী-চুম্বক সুতার সমান্তরাল হয়, অর্থাৎ যতক্ষণ না সূচী-চুম্বক চৌম্বক মধ্যরেখায় আসে। এই অবস্থানে পার্থিব চুম্বকের দরুণ দ্বন্দ্বের ক্রিয়া নষ্ট হয় এবং সূচীচুম্বক কেবলমাত্র একটি মেরুর দ্বারা প্রভাবিত হয় এবং এই মেরুর দরুণ বলরেখা সূচীচুম্বকের অক্ষ বরাবর ক্রিয়া করে। সূচীচুম্বকের ঠিক দুই প্রান্তের নীচে কাগজের উপর পেন্সিল দিয়া দুইটি বিন্দু বসাও। দুই বিন্দু সংযোজক রেখা দণ্ডচুম্বকের N মেরুর দরুণ বলের ক্রিয়ার অভিমুখ নির্দেশ করে। এইরূপে 2, 3, 4 5 অবস্থানে সূচীচুম্বককে রাখিয়া সূচীচুম্বকের দুই প্রান্তবিন্দু সংযোজক রেখাগুলিকে উপরোক্ত ভাবে টান। যেহেতু রেখাগুলি মেরুর বলের অভিমুখ নির্দেশ করে সুতরাং ইহাদিগকে বর্ধিত করিলে মেরুর মধ্য দিয়া অতিক্রম করিবে। (ঙ) দণ্ডচুম্বককে এইবার উঠাইয়া লও এবং রেখাগুলিকে দণ্ডচুম্বকের সীমারেখার মধ্যে বর্ধিত কর। রেখাগুলি মোটামুটি একটি বিন্দুর মধ্য দিয়া অতিক্রম করিবে। এই বিন্দুই হইল দণ্ডচুম্বকের N-মেরু। অনুরূপভাবে দণ্ডচুম্বককে পূর্বেকার সীমারেখায় রাখিয়া সূচীচুম্বকের সাহায্যে অপর মেরুর অবস্থান নির্ণয় করা যায়। দুই মেরুর দূরত্বকে **চৌম্বক দৈর্ঘ্য** বলে। ইহা দণ্ডচুম্বকের প্রকৃত দৈর্ঘ্যের প্রায় ৮০ ভাগ।

৪১। **চৌম্বক বিভব** (Magnetic Potential) : চুম্বকত্ব একপ্রকার শক্তি। সুতরাং ইহার কার্য (work) করিবার সামর্থ্য আছে। প্রত্যেক চুম্বকের

চারিপাশে চৌম্বক ক্ষেত্রের সৃষ্টি হয় এবং ইহার যে কোন বিন্দুতে চৌম্বক শক্তি অনুভূত হয়। মনে কর কোন জায়গায় একটি বিচ্ছিন্ন N-মেরু বিশিষ্ট চুম্বক স্থাপিত আছে। এখন যদি একক মাত্রা উত্তর মেরু (unit N-pole) উপরোক্ত চুম্বকের ক্ষেত্রের যে কোন বিন্দুতে আনা যায় তবে উহা আপনাআপনি ঐ বিন্দুস্থ বলরেখা বরাবর চলিতে থাকিবে সুতরাং ইহার কার্য করিবে: আর যদি এই মেরুকে কোন চুম্বক শক্তির বিরুদ্ধে সরান যায় তবে ইহার উপর কার্য করা হইবে। সুতরাং চৌম্বক ক্ষেত্রের যে কোন বিন্দুতে চুম্বক স্থৈতিক শক্তি (magnetic potential energy) থাকে যাহার জন্য একক উত্তর মেরু কার্য করিতে পারে। ভূপৃষ্ঠ হইতে উপরে উত্থিত কোন পদার্থের যেমন স্থৈতিক শক্তি থাকে এবং উহা নীচে পড়িবার সময় যেমন কার্য করে চৌম্বক ক্ষেত্রে যে কোন বিন্দুতে অবস্থিত অন্য চুম্বকের স্থৈতিক শক্তি থাকে এবং উহা সরিয়া কার্য করে। ক্ষেত্রের যে কোন বিন্দুতে একক মাত্রা উত্তর মেরুর যে মোট চৌম্বক স্থৈতিক শক্তি থাকে তাহাকে সোজা কথায় **চৌম্বক বিভব** বলে। অসীম দূরত্ব (যে দূরত্বে চুম্বকের চৌম্বক শক্তি অনুভূত হয় না) হইতে ঐ বিন্দুতে একক মাত্রার উত্তরমেরু আনয়ন করিতে যতটুকু কার্য হইবে তাহার মান দ্বারা চৌম্বক বিভব মাপা হয়।

চৌম্বক ক্ষেত্রের দুই বিন্দুর মধ্যে বিভবের পার্থক্য = একক মাত্রার উত্তর মেরুকে এক বিন্দু হইতে অন্য বিন্দুতে লইয়া যাইতে যতটুকু কার্য হইবে তাহার মান।

অসীম দূরত্ব হইতে একক মাত্রার উত্তর মেরু চৌম্বক ক্ষেত্রের কোন বিন্দুতে আনিলে যদি কার্য এক একক (C. G. S পদ্ধতিতে এক আর্গ) হয় তবেই বিন্দুর বিভব এক মাত্রা (Unit Potential) হইবে



৩২নং চিত্র

৪২। চুম্বকত্ব হরণ (Demagnetisation) ও রক্ষক (Keepers): একই চুম্বকের দুই বিভিন্নধর্মী মেরুর মধ্যবর্তি সমস্ত অণুর উপর দুই বিভিন্নধর্মী

মেরুর বিপরীত আবেশের জন্য অণুগুলি চুম্বকিত অবস্থা হইতে ঘুরিতে চেষ্টা করে। এই কারণে চুম্বককে ফেলিয়া রাখিলে উহা ধীরে ধীরে আপনাআপনি চুম্বকত্ব হারায়। পাশাপাশি দুই বিপরীত মেরু রাখিলে ফল একই হয়। কোন লৌহদণ্ড চুম্বকিত হইলে সমস্ত চৌম্বক অণুগুলির উত্তর মেরু n চুম্বকের উত্তর মেরু N এর দিকে ঘুরিয়া যায় কিন্তু চুম্বকের N মেরু আবেশের জন্য অণুর n মেরুর প্রান্তে S_1 মেরু উৎপন্ন করিতে চেষ্টা করে। অনুরূপভাবে চুম্বকের S মেরু আবেশের জন্য অণুর s মেরুর প্রান্তে N_1 মেরু উৎপন্ন করিতে চেষ্টা করে। ইহাতে চুম্বক চুম্বকত্ব হারায়। (৩২নং চিত্র)

চুম্বকত্ব হরণ রোধ করিবার জন্য অশ্বখুরাকৃতি চুম্বকের দুই বিপরীত মেরুর সংস্পর্শে একখণ্ড নরম লোহা রাখা হয়। একজোড়া দণ্ড চুম্বকের দুইটি বিপরীত মেরু পাশাপাশি রাখিয়া প্রত্যেক প্রান্তে দুই খণ্ড নরম লোহা রাখা হয়। ইহাতে নরম লৌহখণ্ডে চুম্বকের মেরুর বিপরীত মেরুর উদ্ভব হওয়ায় চুম্বকত্ব হরণ বন্ধ হয়। চুম্বকগুলি ব্যবহারের সময় নরম লোহাকে সরাইয়া ফেলা হয়। নরম লৌহখণ্ডকে রক্ষক বলে।

প্রশ্ন

1. Enunciate and explain the laws of Inverse Squares in the case of magnetic forces. (C. U. 1924, '37). State the laws of action between magnetic poles.

2. Define pole strength, unit magnetic pole. (C. U. 1926, '31, '33, '37, '39, '43 ; A. U. 1921, 29, 31).

3. Define magnetic field, strength or intensity of the field (C. U. 1936, '37, '46, '47.), magnetic intensity at a point. (C. U. 1936, '37, '40, '47; A. U. 1923, '29, '35 ; C. U. 1925)

4. What is meant by a line of force in a magnetic field ? (C. U. 1922, '24, '42, ; D. U. 1932 ; A. U. 1921) ; What are neutral points ? Why are they produced ? (C.U. 1946).

5. Describe two methods of mapping the magnetic field.

6. Trace the lines of force surrounding a bar magnet when the magnet is placed along the magnetic meridian (1) with N.

pole pointing north. (ii) with N. pole pointing south. Indicate the neutral point (C. U. 1926, '33, '36, '39 ; '43, '46)

7. Draw diagrams showing the lines of force in the following cases (i) with opposite poles of two bar magnets in a line facing each other, (ii) with similar poles facing each other, (iii) how are they affected with an iron ring between them. (C. U. 1921.) (iv) a pair of bar magnets lying parallel to each other with similar poles opposite to each other. How are they altered if a piece of soft iron is placed in a field ? (C. U. 1925)

8. How do you protect your watch from magnetic disturbances ? (C.U. 1924).

9. Describe how would you proceed to determine the position of the poles of a bar magnet.

(C.U. 1922, '26, '30, '31, '43. D.U. 1938)

10. Define magnetic potential and unit magnetic potential. (C.U. 1941, D.U. 1948, A.U. 1921)

11. Why does a horse-shoe magnet retain its magnetism better when a keeper is placed across its poles than when it is not so treated ? (C U. 1929)

12. Define co-ercive force, permeability, retentivity, (P.U. 1931, '35, '36). Distinguish between behaviour of soft iron and steel so far magnetic property is concerned ;

13. Distinguish between paramagnetic and dia-magnetic substances. (C. U. 1936).

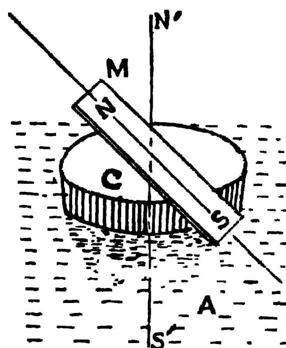
চৌম্বক পরিমাপ (Magnetic Measurements)

৪৩। **সমবল চৌম্বক ক্ষেত্র** (Uniform Magnetic Field) : যদি কোন চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রত্যেক বিন্দুতে চৌম্বক বলের পরিমাণ ও অভিমুখ সমান হয় তবে সেই ক্ষেত্রের বল-রেখাগুলি সমান্তরাল হয় এবং এইরূপ ক্ষেত্রকে **সমবল চৌম্বক** ক্ষেত্র বলে। এইরূপ ক্ষেত্রে সকল বিন্দুতে সূচী-চুম্বক একই

হারে দুলিবে অর্থাৎ ইহার কম্পমান একই হইবে। সম চৌম্বকক্ষেত্রে বলগুলি একটি দ্বন্দ (couple) গঠন করে। (দুইটি সমান ও বিপরীতমুখী সমান্তরাল বলকে দ্বন্দ বলে।) সমবল ক্ষেত্রের কার্য হইল চুম্বককে একটি নির্দিষ্ট অভিমুখে আনা কিন্তু কোন দিকে সরাইয়া লইয়া যাওয়া নয় (directive not translatory).

৪৪। **পার্থিব বা ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্র ঃ** পৃথিবী পৃষ্ঠে এক স্থান হইতে বহুদূরে অন্য স্থানে চৌম্বক বলেব পার্থক্য হয় কিন্তু অল্প পরিসর স্থানে পাথিব চুম্বকের কাজ হইল অন্য চুম্বককে উত্তর-দক্ষিণ অভিমুখে রাখা, পার্থিব চুম্বক কোন চুম্বককে আকর্ষণ বা বিকর্ষণ করে না।

পরীক্ষা :—(ক) একটি চুম্বক Mকে বড একখণ্ড C কর্কের উপর রাখ। একটি বড A পাত্রে জল লও। স্থির জলের উপর চুম্বকসুদ্ধ কর্ককে অনুভূমিক ভাবে ভাসাইয়া দাও। কর্কসুদ্ধ চুম্বক কয়েকবাব কম্পিত হইবার পব ইহাব অক্ষ প্রায় উত্তব-দক্ষিণে মুখ করিয়া স্থির হইবে কিন্তু ইহা পাত্রের গায়েব দিকে সরিযা যাইবে না। কর্কটি ঘুরাইয়া দিলে আবার পূর্বের স্থিব অবস্থানের সমান্তরালে ইহা স্থির হইবে কিন্তু ইহাকে উত্তব বা দক্ষিণে একটু সরাইয়া দিলে উহা পূর্ব অবস্থানে সবিযা আসে না।



৩৩নং চিত্র

(খ) একটি দণ্ড-চুম্বককে একটি পাতেব ছিদ্রের মধ্য দিয়া আল্‌গা (unspun) রেশম সূতা দিয়া ঝুলাইলে কয়েকবার দুলিবার পব ইহা লম্বভাবে ঝুলিবে, কোন দিকে ঝুঁকিবে না।

দুই পরীক্ষা হইতে দেখা যায় পার্থিব চুম্বকের বলে দণ্ড চুম্বক আবর্তন করে কিন্তু কোন দিকে আকৃষ্ট হয় না (motion of rotation but not of translation)।

ব্যাখ্যা ঃ—পৃথিবী একটি বিরাট চুম্বক। দণ্ড-চুম্বক বা সূচী-চুম্বকের

তুলনায় পৃথিবী খুব বড় সুতরাং পার্থিব চুম্বকের উত্তর মেরু দণ্ড-চুম্বকের উত্তর মেরুকে ও পার্থিব চুম্বকের দক্ষিণ মেরু দণ্ড চুম্বকের দক্ষিণ-মেরুকে আকর্ষণ করিবে। কিন্তু এই আকর্ষণ বল সমান ও বিপরীতমুখী হয় সুতরাং পার্থিব চুম্বকের প্রভাবে দণ্ড চুম্বক বা সূচী-চুম্বক একটি নির্দিষ্ট দিকে (প্রায় উত্তর দক্ষিণে) মুখ করিয়া স্থির থাকে কিন্তু উহা কোন দিকে সরিয়া যায় না।

৪৫। **দুই মেরু মাত্রার সমতা** (Equality of the Poles of a Magnet) : একটি দণ্ড-চুম্বককে কর্কের উপর রাখিয়া কর্ককে জলে ভাসাও। চুম্বকটি উত্তর-দক্ষিণ মুখ করিয়া চৌম্বক মধ্যরেখায় স্থির থাকিবে। মনে কর চুম্বকের উত্তর-দক্ষিণ মেরুর শক্তি যথাক্রমে m ও m' এবং মনে কর এই স্থানে পার্থিব চৌম্বক বলের অনুভূমিক উপাংশ (horizontal component) = H। এই সীমাবদ্ধ স্থানে পার্থিব চুম্বকের মাত্রা H সকল বিন্দুতে সমান অর্থাৎ এই ক্ষেত্র সমবল ক্ষেত্র। সুতরাং উত্তর-দক্ষিণ মেরুর উপর যথাক্রমে mH ও m'H ডাইন যান্ত্রিক বল ক্রিয়া করে। এই বলের অভিমুখ চৌম্বক মধ্যরেখা বরাবর হয় সুতরাং এই বলের ক্রিয়ার ফলে চুম্বকটি উত্তর-দক্ষিণে মুখ করিয়া থাকে কিন্তু চুম্বকটি উত্তর বা দক্ষিণে একটুও সরে না এবং লব্ধিবলের মান শুন্য হয় অর্থাৎ স্থির অবস্থায় (position of equilibrium) উত্তর মেরুর উপর ক্রিয়াশীল বল mH ও দক্ষিণ মেরুর উপর ক্রিয়াশীল বল m'H সমান ও বিপরীতমুখী হয়

$\therefore mH = -m'H \quad \therefore m = -m'$

সুতরাং **দুই মেরুর মাত্রা** বা **শক্তি সমান ও বিপরীতমুখী হয়।** যদি m ও m' সমান না হইত তবে mH ও m'H এর মধ্যে একটি বড় ও একটি ছোট হইত এবং চুম্বকটি বৃহত্তর বলের দিকে সরিয়া যাইত। ইস্পাতদণ্ডের চুম্বকনের পরে ও আগে ওজনের কোনও পার্থক্য হয় না। ইহা দুই মেরু শক্তির সমতা প্রমাণ করে।

যদি সরু ও পাতলা চুম্বককে বাঁকাইয়া দুই মেরুকে পরস্পর স্পর্শ করাইয়া জোড়া মুখ লোহাচুড়ের মধ্যে ডুবান যায় তবে জোড়া মুখে কোন লোহা-চুড় লাগিবে না। কেন না দুই মেরুশক্তি সমান ও বিপরীত হওয়ায় উহারা পরস্পর কাটাকুটি করে।

৪৬। **অসমবল ক্ষেত্র** (Variable Field) : অসমক্ষেত্রে দুই মেরুর উপর ক্রিয়াশীল বলের পার্থক্য হয়। ইহার ফলে দণ্ডচুম্বক বেশী বলের দিকে সরিয়া যায়। ভাসমান কর্কের উপর অবস্থিত চুম্বকের নিকট অন্য চুম্বক আনিলে ক্ষেত্র অসম হইয়া যায় এবং দণ্ডচুম্বকটি ঘুরিয়া যায় ও হস্তস্থিত চুম্বকের দিকে সরিয়া যায় (rotation and translation)।

৪৭। **চৌম্বক ভ্রামক** (Magnetic Moment) : (ক) কোন চুম্বকের চুম্বকশক্তি (pole strength) m ও চুম্বকের কার্যকরী দৈর্ঘ্য (effective length) $2l$ এর গুণফলকে **চৌম্বক ভ্রামক** (M) বলে।

সুতরাং $M = 2lm \cdots (8)$

(খ) কোন চুম্বককে একমাত্রা (unit intensity) বিশিষ্ট চৌম্বক ক্ষেত্রের বলরেখার সমকোণে স্থাপন করিতে যে দ্বন্দ-বলের (couple) প্রয়োজন হয় চুম্বকের ভ্রামক ও সেই দ্বন্দের ভ্রামক একই হয়।

চুম্বকের ভ্রামকের উপর চৌম্বক ক্ষেত্রের চুম্বককে অক্ষ বরাবর আবর্তন করিবার ক্ষমতা নির্ভর করে।

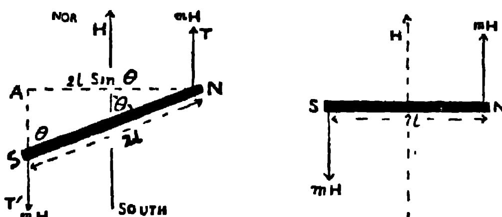
চৌম্বক ভ্রামকের এই দুই সংগার মধ্যে দ্বিতীয় সংগাটি সন্তোষজনক কারণ দ্বিতীয় সংগায় মেরুর কোন উল্লেখ নাই। প্রথম সংগায় উল্লিখিত মেরুশক্তি ও দুই মেরুর দৈর্ঘ নির্দিষ্ট রাশি নয়।

পরবর্তি অনুচ্ছেদে দ্বিতীয় সংগা প্রমাণিত হইয়াছে।

৪৮। **সমবলক্ষেত্রে চুম্বকের আচরণ** (Behaviour of a magnet in an uniform field) :—সমবলক্ষেত্রে চুম্বকের উপর দ্বন্দ বল (Couple acting on a magnet) :

মনে কর N S চুম্বক সমবলক্ষেত্রে স্থাপিত আছে। মনে কর এই ক্ষেত্রের চৌম্বক মাত্রা H গস এবং চুম্বকের মেরুশক্তি m। মনে কর কোন মুহূর্তে চৌম্বকের অক্ষ চৌম্বক মধ্যরেখার স্থির অবস্থানের সহিত θ কোণে আনত আছে। এই মুহূর্তে N মেরুর উপর mH ডাইন বল N T অভিমুখে ক্রিয়া করে এবং S মেরুর উপর mH ডাইন বল ST′ অভিমুখে ক্রিয়া করে। এই দুই বল সমান, সমান্তরাল ও বিপরীতমুখী হয় সুতরাং ইহারা একটি দ্বন্দ গঠন

করে। এই দ্বন্দ চুম্বকে চৌম্বক মধ্যরেখায় স্থির অবস্থানে আনিতে চেষ্টা করে।



৩৪নং চিত্র

এই দ্বন্দের আবর্তন ভ্রামক (turning moment) C = দুই বলের মধ্যে অভিলম্ব (perpendicular) দূরত্ব AN × একটি বল = AN × mH কিন্তু চুম্বকের দৈর্ঘ্য = $2l$ ∴ AN = $2l \sin\theta$. ∴ C = $2l \sin\theta . m\text{H} = 2ml \times \text{H} \sin\theta = \text{MH} \sin\theta$ ($\because 2ml = \text{M}$ = চুম্বকের ভ্রামক)

যখন $\theta = 90°$ ও H = 1 হয় তখন C = M হয়।

অর্থাৎ চুম্বকের ভ্রামক = চুম্বককে একক মাত্রা চৌম্বকক্ষেত্রে চৌম্বক মধ্য-রেখায় অভিলম্বে রাখিতে প্রয়োজনীয় দ্বন্দের ভ্রামক।

যখন $\theta = 90°$ তখন C এর মান সর্বোচ্চ হয়। যখন $\theta = 0°$ তখন C এর মান শূন্য হয়।

অঙ্ক: A magnet 8 c.m. in length lies in a field of intensity H = 0·18 and strength of each of its pole is 5. Find the moment of the couple required to deflect it at rt. angles to the magnetic meridian. (C. U. 1932)

$2l$ = ৮ সেঃ মিঃ, m = ৫, H = ·১৮ ডাইন, θ = ৯০°

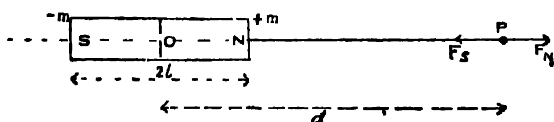
দ্বন্দের ভ্রামক = ৮ × ৫ × ·১৮ × ১ = ৭·২ C. G. S. একক

৪৯। চুম্বকনের তীক্ষ্ণতা বা মাত্রা (Intensity of magnetisation) : যদি কোন দণ্ড-চুম্বক সমভাবে (uniformly) চুম্বকিত হয় তবে চৌম্বক ভ্রামক ও দণ্ড-চুম্বকের আয়তনের অনুপাত চুম্বকের সকল বিন্দুতে সমান হয়।

এই রাশিকে **চুম্বকনের তীক্ষ্ণতা** বলে। সুতরাং একক আয়তনের চৌম্বক ভ্রামককে চুম্বকনের তীক্ষ্ণতা বলে। চুম্বকনের তীক্ষ্ণতা $I=\frac{M}{V}$ $=\frac{m\times 2l}{a\times 2l}=\frac{m}{a}$। সুতরাং একক প্রস্থচ্ছেদের চৌম্বক মাত্রা = চুম্বকনের তীক্ষ্ণতা। চৌম্বক ক্ষেত্রের কোন বিন্দুতে চৌম্বক মাত্রা (intensity of the field) বলিলে সেই বিন্দুতে স্থাপিত একক উত্তর মেরুর উপর ক্রিয়াশীল বলকে বোঝায়।

৫০। **দণ্ড-চুম্বকের দরুণ চৌম্বক ক্ষেত্রের তীক্ষ্ণতার মাত্রা :—** (Intensity of Field due to a Bar Magnet): এইখানে দুইটি বিশিষ্ট অবস্থানের বিন্দুতে চুম্বকের দুই মেরুর সম্মিলিত প্রভাব বিবেচনা করা হইবে :—

(ক) **প্রান্ত-অবস্থান** (End-on-position or A-position of Gauss): **চুম্বকের অক্ষ বরাবর রেখার** (axial line) উপর অবস্থিত যে কোন বিন্দুতে চৌম্বক তীক্ষ্ণতা নির্ণয়: মনে কর NS একটি দণ্ড-চুম্বক।



৩৫নং চিত্র

ইহার দুইটি মেরু যথাক্রমে N ও S। ইহার দৈর্ঘ্য $=2l$ সেঃ মিঃ, মেরু-শক্তি $=m$ একক। মনে কর অক্ষীয় রেখা SQ এর উপর P একটি বিন্দু। Pতে একটি একক উত্তর মেরু কল্পনা কর।

মনে কর চুম্বকের মধ্যবিন্দু O হইতে P এর দূরত্ব $=d$. সুতরাং $NP=d-l$ এবং $SP=d+l$.

একক উত্তর মেরুর উপর N মেরুর বিকর্ষণ বল $F_n=\frac{m\times 1}{NP^2}$

" " " " S " আকর্ষণ বল $F_s=\frac{m\times 1}{SP^2}$

(ব্যস্তানুপাতিক বর্গসূত্র অনুসারে)

যেহেতু Fn ও Fs একই রেখায় বিপরীত দিকে ক্রিয়া করে এবং S মেরু অপেক্ষা N মেরু P বিন্দুর নিকটে অবস্থিত সুতরাং $Fn > Fs$.

∴ P বিন্দুতে লব্ধি বল F = P বিন্দুতে লব্ধি চৌম্বক তীক্ষ্ণতা $= Fn - Fs$

$$= \frac{m}{NP^2} - \frac{m}{SP^2} = \frac{m}{(d-l)^2} - \frac{m}{(d+l^2}$$

$$\therefore \quad F = \frac{m(d+l)^2 - m(d-l)^2}{(d^2-l^2)^2}$$

$$= \frac{4mdl}{(d^2-l^2)^2} = \frac{2Md}{(d_2-l^2)^2} \text{ গস} \cdots\cdots\cdots(৬) \quad (\because \; M = 2ml.)$$

যদি d এর তুলনায় l খুব কম হয় তবে d^2 এর তুলনায় l^2 বাদ দেওয়া যায়।

$$\therefore \quad F = \frac{2Md}{d^4} = \frac{2M}{d^3} \text{ . গস } \cdots\cdots\cdots(৭)$$

সুতরাং প্রান্ত-অবস্থানে কোন বিন্দুতে চৌম্বক ক্ষেত্রেব তীক্ষ্ণতা দূরত্বেব ঘনফলের (cube) ব্যস্তানুপাতিক হয।

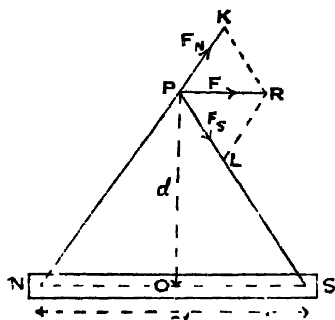
P বিন্দুব এই অবস্থানকে End-on-position or A-position of Gauss বলে।

(খ) **পার্শ্ব-অবস্থান** (Broad-side-on Position or B-position of Gauss) : দণ্ড-চুম্বকের মধ্য-বিন্দু Oব মধ্য দিয়া **অক্ষের উপর অঙ্কিত লম্ব OPর উপর** অবস্থিত যে কোন বিন্দু Pতে চৌম্বক ক্ষেত্রের তীক্ষ্ণতা নির্ণয় : এই লম্বকে **চৌম্বক মধ্যরেখা** বা **মধ্যতল** (Magnetic Equator) বলে।

মনে কব $OP = d$ ও $NS = 2l$, মেরু শক্তি $= m$ একক ; PN ও PS যোগ কর। মনে কর P তে একক উত্তর মেরু আছে।

একক উত্তর মেরুর উপর N মেরুর বিকর্ষণ বল $Fn = \frac{m}{NP^2}$ ও NP অভিমুখে।

একক উত্তর মেরুর উপর S মেরুর আকর্ষণ বল $Fs=\frac{m}{PS^2}$ ও PS অভিমুখে।



৩৬নং চিত্র

এখানে PN=PS; সুতরাং $\frac{m}{PN^2}$ ও $\frac{m}{PS^2}$ বল পরিমাণে সমান। এখন দুই বলের লব্ধি F বাহির করিতে হইবে।

এই দুই বলকে PK ও PL দূরত্ব দ্বারা প্রকাশ কর। PKRL সামন্তরিক (parallelogram) সম্পূর্ণ কর। বলের সামন্তরিক সূত্রানুসারে কর্ণ PR লব্ধি বল F এর পরিমাণ ও অভিমুখ প্রকাশ করে।

NSP ও PRK ত্রিভুজদ্বয় সদৃশ (similar)

$\therefore \frac{PR}{PK}=\frac{NS}{NP}$। আমরা জানি $Fn=PK=\frac{m\times 1}{NP^2}$;

$NS=2l,\quad PO=d$,

$\therefore \frac{F}{m/NP^2}=\frac{2l}{NP} \quad \therefore F=\frac{2ml}{NP^3}=\frac{M}{NP^3}=\frac{M}{NP(d^2+l^2)}$

$\therefore NP^2=NO^2+PO^2=d^2+l^2$

$$\therefore F=\frac{M}{\sqrt{(d^2+l^2)}(d^2+l^2)}=\frac{M}{(d^2+l^2)^{\frac{3}{2}}}\cdots(৮)$$

যদি d এর তুলনায় l খুব কম হয় তবে $F=\frac{M}{(d^2)^{\frac{3}{2}}}=\frac{M}{d^3}$ গস$\cdots$(৯)

PR ও অক্ষ NS এর অভিমুখ সমান্তরাল।

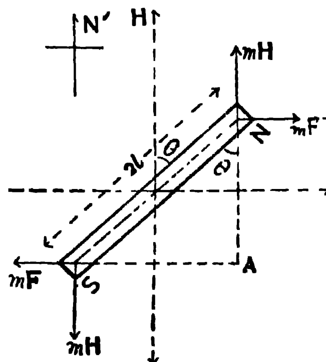
পূর্বের মত P বিন্দুতে ক্ষেত্রের তীক্ষ্ণতা দূরত্বের ঘনফলের ব্যস্তানুপাতিক।

দ্রষ্টব্য: (ক) সমদূরত্বে অবস্থিত কোন বিন্দুর উপর A-position অপেক্ষা B-posiition এ তীক্ষ্ণতা অর্ধেক হয়।

(খ) তীক্ষ্ণতা M এর উপর নির্ভর করে।

৫১। ট্যানজেণ্ট সূত্র (Tangent Law) **:** দুইটি পরস্পর লম্বভাবে অবস্থিত সমচৌম্বক ক্ষেত্রে কোন চুম্বকের সাম্য অবস্থা **:** (Equilibrium of a magnet in two perpendicular uniform magnetic fields) **:**

মনে কর NS একটি আলম্বিত বা বিলম্বিত চুম্বককে দুইটি পরস্পর লম্বভাবে ক্রিয়াশীল চৌম্বকক্ষেত্রে রাখা হইল। মনে কর এই দুইটি চৌম্বকক্ষেত্রের মাত্রা যথাক্রমে H ও F। এখানে F ও Hএর অভিমুখ পরস্পর অভিলম্বভাবে ক্রিয়া করে। মনে কর চৌম্বকের দৈর্ঘ্য $=2l$ আর মেরুর শক্তি $=m$। চৌম্বক বলের অভিমুখ তীর চিহ্নের দ্বারা H ও F রেখা বরাবর দেখান হইয়াছে। H ক্ষেত্র দ্বারা প্রত্যেক মেরুর উপর প্রযুক্ত বল $=m.$ H ডাইন। এই দুই সমান, বিপরীত ও সমান্তরাল বল বা দ্বন্দ্ব চুম্বককে বামাবর্তে (anticlockwise) ঘুরাইতে চেষ্টা করিবে। ইহাকে Restoring couple বলে। লম্বভাবে ক্রিয়াশীল F ক্ষেত্র দ্বারা দুই মেরুর উপর প্রযুক্ত বল $=m$F ডাইন। এই দুই বিপরীত সমান্তরাল বল চুম্বককে দক্ষিণাবর্তে (clockwise) ঘুরাইতে চেষ্টা করিবে। ইহাকে Deflecting couple বলে। এই দুই বলের প্রভাবে যখন চুম্বকটি স্থির অবস্থায় আসে তখন দুই দ্বন্দের ভ্রামক সমান হইবে। মনে কর সাম্য অবস্থায় চুম্বকের অক্ষ H ক্ষেত্রের অভিমুখের সহিত θ কোণ উৎপন্ন করে।



৩৭নং চিত্র

$$mF \text{ দ্বন্দের ভ্রামক} = mH \times 2l \sin\theta$$

$$mH \text{ দ্বন্দের ভ্রামক} = mF \times 2l \cos\theta$$

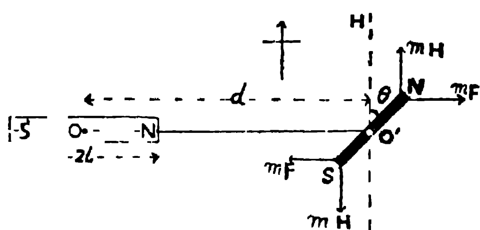
$$\therefore \frac{\mathbf{F}}{\mathbf{H}} = \frac{\sin\theta}{\cos\theta} = \tan\theta \cdots \text{ (১০)}$$

পরস্পরের সমকোণে অবস্থিত দুইটি চৌম্বক্ষেত্রের প্রভাবে অবিচলিত স্থির চুম্বক যে কোন একটি ক্ষেত্রের সঙ্গে যে কোণ উৎপন্ন করে সেই কোণের Tangent ক্ষেত্রদ্বয়ের তীক্ষ্নতার সমানুপাতিক হয়।

দ্রষ্টব্য : (ক) অনেক যন্ত্রে সূচীচুম্বকের প্রত্যেক মেরু দুইটি পরস্পর সমকোণ ক্রিয়াশীল বলের দ্বারা প্রভাবিত হয়, যথা (১) পার্থিব চৌম্বকত্বের অনুভূমিক উপাংশ—controlling force (২) deflecting বল F। (খ) ট্যানজেণ্ট সূত্রে সূচী-চুম্বকের মেরু শক্তি নিরপেক্ষ।

৩২। Gauss এর দুইটি বিশিষ্ট Tangent অবস্থান :

আমরা এইবার একটি চুম্বকশলাকার উপর পার্থিব চুম্বকের আনুভূমিক ও দণ্ডচুম্বকের সম্মিলিত প্রভাব বিবেচনা করিব। পূর্বের ন্যায় আমরা এখানে দণ্ডচুম্বকের দুইটি বিশিষ্ট (End-on এবং Broad-side) অবস্থান বিবেচনা করিব।



৩৮নং চিত্র

(ক) Gauss এর Tangent A position বা প্রান্ত-অবস্থান :

এই অবস্থানে দণ্ড চুম্বক NS চৌম্বক-মধ্যরেখার সমকোণে (পূর্ব-পশ্চিমে) অবস্থিত হয়। একটি ক্ষুদ্র আলম্বিত (pivoted) or বিলম্বিত (suspended) চুম্বকশলাকা NS এমনভাবে রাখা হয় যাহাতে শলাকার মধ্যবিন্দু O' দণ্ডচুম্বকের বর্ধিত অক্ষের উপর থাকে অর্থাৎ End-on অবস্থানে থাকে। মনে কর 0 $O' = d$। যদি d বড় হয় তবে দণ্ডচুম্বকের দরুণ d দূরত্বে অবস্থিত অঞ্চলে চৌম্বকক্ষেত্র সমান বলের ধরা যাইতে পারে।

মনে কর দণ্ডচুম্বকের দৈর্ঘ্য $= 2l$, চুম্বক শলাকার দের্ঘ্য $= l^1$, চুম্বকশলাকার মেরু-শক্তি $= m$, দণ্ডচুম্বকের ক্ষেত্র মাত্রা $=$ F, পার্থিব চুম্বকের ক্ষেত্র মাত্রা $=$ H। এখন চুম্বকশলাকার উপর দুইটি দ্বন্দ ক্রিয়া করিবে—একটি পার্থিব চুম্বকের দরুণ

সমান্তরাল বল mH ডাইন (restoring couple) এবং একটি দণ্ডচুম্বকের দরুণ mF ডাইন (deflecting couple)

মনে কর এই দুই দ্বন্দ বলের সম্মিলিত ক্রিয়ায় চুম্বকশলাকা চুম্বক-মধ্যরেখার সহিত θ কোণে স্থির হয়। দণ্ড-চুম্বকের বলের দ্বন্দের ভ্রামক $= mF \times 2l' \cos\theta$। পার্থিব চুম্বকের বলের দ্বন্দের ভ্রামক $= mH \times 2l' \sin\theta$

সাম্য অবস্থায় এই দুইটি ভ্রামক সমান হয়। $\therefore\ mF \times 2l' \cos\theta = mH \times 2l' \sin\theta$ বা $F = H\tan\theta$; আমরা জানি $F = \frac{2Md}{(d^2 - l^2)^2}$ (৬ সমীকরণ)

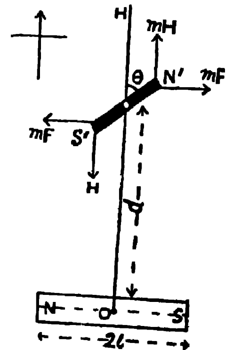
$M = NS$ চুম্বকের চৌম্বক ভ্রামক।

$$\therefore\ \frac{2Md}{(d^2 - l^2)^2} = H \tan\theta \text{ বা } \frac{M}{H} = \frac{(d^2 - l^2)^2}{2d} \tan\theta \cdots (১১)$$

d এর তুলনায় l খুব ক্ষুদ্র হইলে $\frac{M}{H} = \frac{d^3}{2} \tan\theta \cdots$(১২)

(খ) Tangent B position of Gauss :

এই অবস্থানে দণ্ডচুম্বক NS পার্থিব চৌম্বকক্ষেত্রের সহিত সমকোণে অবস্থিত থাকে এবং চুম্বক শলাকা N′ S′র মধ্য-বিন্দু দণ্ডচুম্বকের মধ্য-বিন্দুর মধ্য দিয়া সমকোণে অঙ্কিত রেখার (equitorial line) উপর থাকে।



৩৯নং চিত্র

পূর্বের ন্যায় mH ডাইন restoring

দ্বন্দের ভ্রামক $= MH \sin\theta$

mF ডাইন deflecting দ্বন্দের ভ্রামক $= MF \cos\theta$

$$\therefore\quad F = H\tan\theta$$

কিন্তু এই বিষয়ে $F = \frac{M}{(d^2 + l^2)^{\frac{3}{2}}}$

(M = দণ্ডচুম্বকের চৌম্বক ভ্রামক)

$$\frac{M}{(d^2 + l^2)^{\frac{3}{2}}} \cdot H \tan\theta$$

বা $\frac{M}{H}=(d^2+l^2)^{\frac{3}{2}}\tan\theta$ ···(১৩)

d এর তুলনায় l খুব কম হইলে $\frac{M}{H}=d^3\tan\theta$ ···(১৪)

দ্রষ্টব্য : উপরোক্ত দুইটি বিষয়ে H ও F পরস্পর সমকোণে ক্রিয়া করে। সুতরাং Tangent সূত্র প্রযোজ্য।

৫৩। উদাসীন বিন্দু দ্বারা মেরুশক্তি (m) ও চৌম্বক ভ্রামক (M) নির্ণয় (Determination of m and M by neutral points) :

দণ্ডচুম্বকের মেরুশক্তি F ও পার্থিব চুম্বকের মেরুশক্তি H উদাসীন বিন্দুতে পরস্পর কাটাকুটি করে আর্থাৎ F = H হয়

(ক) ৩৮ নং চিত্রে দণ্ডচুম্বক End-on অবস্থানে আছে। মনে কর উদাসীন বিন্দু × ও চুম্বকের মধ্য-বিন্দুর দূরত্ব = d.

$$\therefore\ H=F=\frac{2Md}{(d^2-l^2)^2}\ \text{(৬নং সমীকরণ)}$$

$$\therefore\ 2ml=M=\frac{H(d^2-l^2)^2}{2d}\ \cdots(১৫)$$

H এর মান জানা থাকিলে M বা m এর মান বাহির করা যায়।

(খ) ৩৯ নং চিত্রে দণ্ড চুম্বক Broad-side অবস্থানে আছে

$$\therefore\ H=F=\frac{M}{(d^2+l^2)^{\frac{3}{2}}}=\frac{2ml}{(d^2+l^2)^{\frac{3}{2}}}\cdots(১৬)$$

H এর মান জানা থাকিলে M or m এর মান বাহির করা যায়।

অঙ্ক : 1. A compass needle is placed 30 cms to the east of a small magnet. The needle is deflected through 45°. Calculate the moment of the magnet approximately and pole-strength if the length of the magnet is 6 cms.

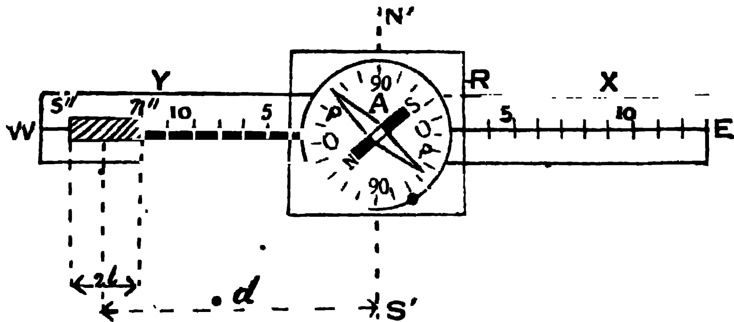
(All. U. 1932)

$$\frac{M}{H}=\frac{(d^2-l^2)^2}{2d}\tan\theta\ \text{ বা }\ M=\frac{H.\ (33^2-3^2)^2}{2\times 33}\tan 45^\circ$$

$$= \frac{\cdot 352 \times 1080^2}{2 \times 33} = 6220\cdot 8 \text{ একক। } m = \frac{M}{2l} = \frac{6220\cdot 8}{6} = 1036\cdot 8 \text{ একক.}$$

৫৪। **ম্যাগ্‌নেটোমিটার :** যে যন্ত্র দিয়া বিভিন্ন প্রকার চুম্বকত্বের মাপ লওয়া হয় তাহাকে **ম্যাগ্‌নেটোমিটার** বলে। ইহা দুই প্রকার, যথা :—

(১) **বিক্ষেপ** (Deflection) **ম্যাগ্‌নেটোমিটার :** এই যন্ত্রে নিম্নলিখিত অংশ থাকে :—(ক) একটি গোলাকার অংশাঙ্কিত কার্ড বোর্ডের চাকতির কেন্দ্রে একটি অনুভূমিক ভাবে বিলম্বিত বা আলম্বিত ছোট সূচী-চুম্বক NS থাকে। চাকতিটি চারিটি পাদে (quadrant) বিভক্ত থাকে। প্রত্যেক পাদে 0° হইতে ৯০° পর্য্যন্ত অংশাঙ্কিত থাকে। (খ) সূচী-চুম্বকের সঙ্গে সমকোণে একটি হাল্‌কা এ্যালুমিনিয়াম কাঁটা PP (pointer) আঁটা থাকে। কাঁটার প্রান্তদ্বয় চাকতির উপর সহজে ঘুরিতে পারে সুতরাং সূচী-

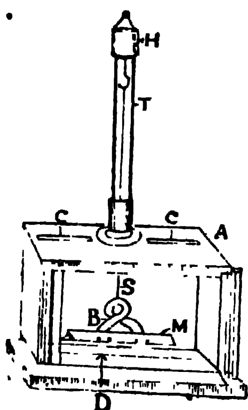


৪০নং চিত্র

চুম্বকের যে কোন বিক্ষেপ মাপিবার জন্য কাঁটার প্রান্তদ্বয়ের অবস্থানের দুইটি পঠন লইতে হয় (গ) সমস্ত যন্ত্রটি একটি কাঠের বাক্স Rর মধ্যে রক্ষিত হয় যাহাতে বায়ু সঞ্চালনে সূচী-চুম্বক আন্দোলিত না হয়। বাক্সের ঢাক্‌না কাচ নির্মিত হয় যাহাতে সূচী-চুম্বক দেখা যায়। (ঘ) বাক্সের দুই ধারে দুই বাহু X ও Y এক রেখায় থাকে। এই দুই বাহুতে দুইটি স্কেল এমনভাবে আঁটা থাকে যে স্কেলের শূন্য দাগ সূচী-চুম্বকের কেন্দ্রের সহিত মিলিয়া যায়। (ঙ) সূচী-চুম্বকের অবস্থানের পঠন লইবার সময় লম্বন-দোষ (parallax) দূর করিবার জন্য

চাকতির নীচে প্রতিফলক দর্পণ রাখা হয়। কাঁটার যে অবস্থানে চোখ কাঁটা ও দর্পণে তাহার প্রতিবিম্ব ঠিক উপর-নীচে দেখে সেই অবস্থানের কাঁটার পঠন লইতে হয়।

(২) **কম্পন** (Vibration or Oscillation) **ম্যাগ্‌নেটোমিটার ঃ** এই যন্ত্রে নিম্নলিখিত অংশ থাকে :—(ক) একটি কাঠের A বাক্সের সম্মুখ ও পিছন ধার কাচের তৈয়ারি হয়। (খ) ঢাকনার ঠিক মাঝখানে দীর্ঘ লম্ব চোঙাকৃতি নল T থাকে। এই নলের মাথায় একটি আবর্তশির (torsion head) H থাকে। (গ) H এর হুক হইতে একটি আল্‌গা সূক্ষ্ম রেশম সূতা S ঝুলান হয়। সূতার প্রান্তে অচৌম্বক পদার্থের একটি হুক B বাঁধা থাকে। B হুকে চুম্বক M অনুভূমিকভাবে ঝুলান হয়। (ঘ) চুম্বকের নীচে একটি রেখা D আঁকা হয় (ঙ) ঢাকনার উপরে দুইটি লম্বা ছিদ্র CC থাকে। ইহাদের ভিতর দিয়া D রেখা দেখা যায়। (চ) বাক্সের নীচে তিনটি স্ক্রু দিয়া যন্ত্র লেভেল করা হয়।



৪১নং চিত্র

কার্য্য-নীতি (Theory of action) : (ক) যন্ত্রকে লেভেল কর। (খ) B হুকে M চুম্বক রাখ যাহাতে ইহা চৌম্বক মধ্যরেখায় স্থির থাকে। (গ) দেখ যেন সূতায় কোন পাক না থাকে। (ঘ) বাক্সের কাছে অন্য একটি চুম্বক লইয়া আন। ভিতরের M চুম্বক চৌম্বক মধ্যরেখা হইতে সরিয়া যাইবে। (ঙ) বাহিরের চুম্বক সরাইয়া লও। এখন M চুম্বক পার্থিব চৌম্বক ক্ষেত্রে দোলকের মত কম্পিত হইতে থাকিবে। (চ) একটি ষ্টপ ঘড়ির সাহায্যে কয়েকটি পূর্ণ কম্পনের দোলন-কাল (period of complete oscillation) লও। উহাদের গড় বাহির কর। মনে কর দোলন-কাল = T.

নিম্নলিখিত সমীকরণ হইতে T পাওয়া যায়,

$$T=2\pi\sqrt{\frac{I}{MH}} \quad \cdots \quad \cdots \quad \cdots(১৭)$$

এখানে I = চুম্বকের জাড্যের ভ্রামক (moment of inertia),

M = চুম্বকের চৌম্বক ভ্রামক

H = চৌম্বক ক্ষেত্রের (এখানে পার্থিব ক্ষেত্রের) তীব্রতা

(i) $T^2=4\pi^2\times\frac{I}{MH}$ ∴ $T^2 \propto \frac{I}{H}$ ....(১৮)

(ii) যদি n চুম্বকের কম্পনাঙ্ক হয় অর্থাৎ ১ সেকেণ্ডে পূর্ণ দোলনের সংখ্যা হয় তবে $T=\frac{1}{n}$. or $T^2=\frac{1}{n^2}$

∴ (১৮) হইতে $\frac{I}{H}\propto\frac{1}{n^2}$ ∴ $H\propto n^2$. (১৮ ক)

কম্পনাঙ্কের বর্গ ও চৌম্বক ক্ষেত্রের তীব্রতা সমানুপাতিক হয়।

∴ $H=kn^2$. (১৯) এখানে $k=4\pi\frac{T}{M}$.

দ্রষ্টব্য (i) যদি কোন আয়তক্ষেত্রিক চুম্বকের দৈর্ঘ্য $=a$, প্রস্থ $=b$ হয়, এবং যদি চুম্বকের আবর্তন-অক্ষ (axis of rotation) চুম্বকের দৈর্ঘের অভিলম্বে চুম্বকের ভারকেন্দ্রের মধ্য দিয়া অতিক্রম করে তবে $I=m\left(\frac{a^2+b^2}{12}\right)$

এখানে m = চুম্বকের ভর।

(ii) অনুরূপক্ষেত্রে চোঙাকৃতি চুম্বকের বেলায় $I=m\left(\frac{b^2}{12}+\frac{r^2}{4}\right)$

এখানে b = চুম্বকের দৈর্ঘ্য, r = চুম্বকের ব্যাসার্ধ।

(iii) M চুম্বকের দোলন বা কম্পন সরল দোলকের দোলনের মত সরল সমঞ্জস দোলন।

৫৫। ম্যাগ্‌নেটোমিটারের উপকারিতা : এই দুইটি যন্ত্র দিয়া নিম্নলিখিত কাজ হয় :—

(ক) দুইটি চুম্বকের চৌম্বক ভ্রামকের (M ও M_1) তুলনা।

(খ) দুই স্থানের চৌম্বক ক্ষেত্রের তীব্রতার (H ও H_1) তুলনা।

(গ) ব্যস্তানুপাতিক বর্গ সূত্রের (Law of Inverse Square) প্রমাণ।

(ঘ) M ও H এর চরম (absolute) মান নির্ণয়।

(ঙ) দুইটি দীর্ঘ চুম্বকের মেরু মাত্রার তুলনা। একটি চুম্বকের মেরু-মাত্রা নির্ণয়।

৫৬। দুইটি চুম্বকের চৌম্বক ভ্রামকের তুলনা ঃ

(১) বিক্ষেপ ম্যাগনেটোমিটার দ্বারা ঃ (i) Tan A **অবস্থান ঃ**

নীতি ঃ প্রথমে ১১ নং সমীকরণ দ্বারা দুই চুম্বকের $\frac{M}{H}$ নির্ণয় কর, তারপর $\frac{M}{M_1}$ নির্ণয় কর।

পরীক্ষা ঃ বিভিন্ন বিক্ষেপ দ্বারা ঃ (ক) যন্ত্রকে এমনভাবে রাখ যাহাতে দুই বাহু XY চৌম্বক মধ্যরেখা অর্থাৎ সূচী-চুম্বকের দৈর্ঘ্যের উপর অভিলম্বভাবে অর্থাৎ **পূর্ব-পশ্চিমে** থাকে এবং কাঁটার দুই প্রান্ত স্কেলে $0°-0°$ অবস্থানে থাকে।

(খ) মনে কর পরীক্ষাধীন চুম্বকদ্বয়ের চৌম্বক ভ্রামক $=M$ ও M_1 এবং উহারা প্রায় একই আকারের।

(গ) একটি চুম্বককে একটি বাহুতে (মনে কর Y বাহুতে) পূর্ব-পশ্চিমে মুখ করিয়া রাখ। মনে কর স্কেলের শূন্য দাগ হইতে চুম্বকের কেন্দ্রের দূরত্ব $=d$ সেঃ। মনে কর সূচী-চুম্বকের বিক্ষেপ $=\theta°$; এবং চুম্বকের দৈর্ঘ্য $=2l$

তবে $$\frac{M}{H}=\frac{(d^2-l^2)^2}{2d}\times\tan\theta°\cdots(\text{ক})$$

(ঘ) দ্বিতীয় চুম্বককে একইভাবে d_1 সেঃ মিঃ দূরত্বে রাখ, মনে কর বিক্ষেপ $=\theta_1°$ এবং দ্বিতীয় চুম্বকের দৈর্ঘ্য $=l_1$.

$$\frac{M_1}{H}=\frac{(d_1^2-l_1^2)^2}{2d_1}\times\tan\theta_1°\ (\text{খ})$$

(ক) (খ) হইতে $\frac{M}{M_1} = \frac{(d^2-l^2)}{d} \times \frac{d_1}{(d_1^2-l_1)^2} \times \frac{\tan\theta^\circ}{\tan\theta_1^\circ}$..
ডানদিকের সমস্ত রাশি পরীক্ষার দ্বারা নির্ণয় করা যায়।

সুতরাং $\frac{M}{M_1}$ তুলনা করা যায়।

যদি $d=d_1$ হয়, এবং l বা l_1 হইতে d অনেক বেশী হয়,

$$\text{তবে } \frac{M}{M_1} = \frac{d^3 \tan\theta^\circ}{d^3 \tan\theta_1^\circ} = \frac{\tan\theta^\circ}{\tan\theta_1^\circ}. \quad \cdots(২০)$$

সমান বিক্ষেপ দ্বারা: দ্বিতীয় চুম্বককে এমন দূরত্বে রাখ যাহাতে $\theta_1^\circ=\theta^\circ$ হয়। $\therefore \tan\theta^\circ = \tan\theta^\circ_1$. মনে কর স্কেলের শূন্য দাগ হইতে দুই চুম্বকের কেন্দ্রের দূরত্ব যথাক্রমে d ও d_1 সেঃ মিঃ

$$\therefore \frac{M}{M_1} = \frac{d^3}{d_1^3} \quad \cdots(২১)$$

শূন্য বিক্ষেপ (Null Deflection) **দ্বারা:** একই সময়ে দুই সূচী-চুম্বকের বিপরীত দিকে পূর্ব পশ্চিমে একই মেরু সূচী-চুম্বকের দিকে মুখ করিয়া এমন দূরত্বে রাখ যাহাতে সূচী-চুম্বকের কোন বিক্ষেপ হয় না। অর্থাৎ সূচী-চুম্বকের উপর একটি চুম্বকের বল অপর চুম্বকের বলের সমান ও বিপরীতমুখী হয় $\pm\theta=0^\circ=\theta^\circ_1$. মনে কর স্কেলের শূন্য দাগ হইতে দুই চুম্বকের কেন্দ্রের দূরত্ব $=d$ ও d_1 সেঃ মিঃ.

$$\therefore \frac{M}{M_1} = \frac{(d^2-l^2)^2}{(d_1^2-l_1^2)^2} \times \frac{d_1}{d}$$

যখন d ও d_1 খুব বড় হয় তখন $\frac{M}{M_1} \quad \frac{d^3}{d_1^3}$.

(ii) Tan B **অবস্থান: বিভিন্ন বিক্ষেপ দ্বারা:** (ক) যন্ত্রকে এমনভাবে রাখ যাহাতে বাহুদ্বয় চৌম্বক মধ্যরেখায় অর্থাৎ **উত্তর-দক্ষিণে** থাকে এবং কাঁটার প্রান্তদ্বয় স্কেলের $0^\circ-0^\circ$ অবস্থানে থাকে।

(খ) একটি চম্বক N"S" কে একটি বাহুর (X) উপর আড়াআড়ি ভাবে

অর্থাৎ পূর্ব-পশ্চিমে মুখ করিয়া রাখ। মনে কর স্কেলের শূন্য দাগ হইতে চুম্বকের কেন্দ্রের দূরত্ব $= d$ সেঃ মিঃ, বিক্ষেপ $= \theta^\circ$, চৌম্বক-ভ্রামক $=$ M। মনে কর দ্বিতীয় চুম্বকের বেলায় দূরত্ব $= d_1$, বিক্ষেপ $= \theta_1^\circ$, চৌম্বক-ভ্রামক $= M_1$. মনে কর $d = d_1$

$$\frac{M}{H} = d^3 \tan\theta^\circ \text{।} \quad \frac{M_1}{H} = d_1{}^3 \tan\theta_1{}^\circ$$

$$\therefore \quad \frac{M}{M_1} = \frac{\tan\theta^\circ}{\tan\theta_1{}^\circ} \qquad (২১)$$

৪২নং চিত্র

সমান বিক্ষেপ দ্বারা: মনে কর দুই চুম্বক d ও d_1 দূরত্বে পৃথকভাবে থাকিলে স্চী-চুম্বকের সমান বিক্ষেপ উৎপন্ন হয়।

$$\therefore \quad \frac{M}{M_1} = \frac{d^3}{d_1{}^3}.$$

শূন্য বিক্ষেপ দ্বারা: মনে কর একই সঙ্গে একটি চুম্বককে যন্ত্রের উত্তরে ও একটিকে দক্ষিণে যথাক্রমে d ও d_1 দূরত্বে রাখিলে স্চী-চুম্বকের শূন্য বিক্ষেপ উৎপন্ন হয়।

$$\therefore \quad \frac{M}{M_1} = \frac{d^3}{d_1{}^3}.$$

পরীক্ষার দোষ অপনোদন: (ক) স্চী-চুম্বকের কেন্দ্র ঠিক গোলাকার চাকতির কেন্দ্রে নাও থাকিতে পারে। সেইজন্য প্রত্যেকবার কাঁটার দুই প্রান্তের পঠন লইতে হয়।

(খ) বিক্ষেপ (deflecting) চুম্বকের জ্যামিতিক কেন্দ্র হইতে দুই মেরু সমান দূরত্বে নাও থাকিতে পারে। সেইজন্য বিক্ষেপ চুম্বকের মেরুদ্বয়ের স্থান ঘুরাইয়া কাঁটার দুই প্রান্তের পঠন লইতে হয়।

(গ) স্চী-চুম্বকের কেন্দ্র স্কেলের শূন্য দাগে নাও থাকিতে পারে। সেইজন্য

একই বিঃ চুম্বককে সম দূরত্বে যন্ত্রের দুই বাহুতে রাখিয়া কাঁটার দুই প্রান্তের পঠন লইতে হয়।

(ঘ) প্রত্যেকবার বিঃ চুম্বকের উপর-নীচে উল্টাইয়া কাঁটার দুই প্রান্তের পঠন লইতে হয়। মোট যোল বারের পঠনের গড় $= \theta^\circ$ বিক্ষেপ।

দ্রষ্টব্য ঃ (ক) Tan A ও Tan B দুই অবস্থানেই বিঃ চুম্বককে যন্ত্রের বাহুতে পূর্ব-পশ্চিমে মুখ করিয়া রাখিবে। (খ) Tan B অবস্থান অপেক্ষা Tan A অবস্থানে পরীক্ষা ভাল হয় কারণ A অবস্থানে কাঁটার পঠন বেশী নির্ভুলভাবে পাওয়া যায় এবং বিক্ষেপ পরিমাণে বেশী হয়।

(২) **কম্পন ম্যাগ্‌নেটোমিটার দ্বারা ঃ ১ নং পদ্ধতি ঃ** M ভ্রামক ও I জাড্য-ভ্রামক বিশিষ্ট চুম্বককে B হুকে ঝুলাইয়া ৩০ বার দোলনের সময় লও। ইহাদের গড় বাহির কর। মনে কর এই গড় $=$ T. মনে কর এই চুম্বকের গড় দোলন কাল $= T_1$

$$\therefore\ T^2 = 4\pi^2 \frac{I}{MH} \qquad T_1^2 = 4\pi^2 \frac{I_1}{M_1 H}$$

$$\therefore\ \frac{M}{M_1} = \frac{(T_1)}{(T)} \times \frac{I}{I_1}$$ I ও I_1 গণনা করিয়া $\frac{M}{M_1}$ তুলনা করা হয়।

২ নং পদ্ধতি : একটি ছোট কাষ্ঠখণ্ডে উপর-নীচে দুইটি গর্তে দুইটি চুম্বককে এক সঙ্গে রাখিয়া প্রথম বারে উহাদের সম মেরু এক দিকে, দ্বিতীয় বারে বিপরীত মেরু এক দিকে রাখিয়া কম্পিত হইতে দাও। এই পদ্ধতিতে যুক্ত চুম্বকের জাড্য ভ্রামক একই থাকে।

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{I}{(M+M_1)H}} \ (২২)\text{।} \quad T_1 = 2\pi\sqrt{\frac{I}{(M-M_1)H}} \ (২৩)$$

$$\therefore\ \frac{M}{M_1} = \frac{T_1^2 + T^2}{T_1^2 - T^2} \text{ কিন্তু } n = \frac{1}{T} \quad \therefore\ \frac{M}{M_1} = \frac{n^2 + n_1^2}{n^2 - n_1^2} \ (২৪)$$

এখানে I & I_1 গণনা না করিয়া $\frac{M}{M_1}$ নির্ণয় করা যায়।

৫৭। দুইটি স্থানে পার্থিব চৌম্বক ক্ষেত্রের তীব্রতার তুলনা ঃ

(১) **বিক্ষেপ ম্যাগ্‌নেটোমিটার দ্বারা ঃ** মনে কর ক স্থানে Tan A অবস্থানে যন্ত্র রাখিয়া একটি বিঃ চুম্বককে স্কেলের শূন্য দাগ হইতে d দূরত্বে রাখিয়া θ° বিক্ষেপ পাওয়া গেল। মনে কর খ স্থানে একই দূরত্বে একই বিঃ চুম্বক রাখিয়া θ_1° বিক্ষেপ পাওয়া গেল। মনে কর ক ও খ স্থানে পার্থিব চৌম্বক ক্ষেত্রের অনুভূমিক তীব্রতা (horizontal intensities) = H_8 ও H_1.

$\therefore$ প্রথম ক্ষেত্রে $\frac{M}{H} = \frac{d^3 \tan\theta^\circ}{2}$, দ্বিতীয় ক্ষেত্রে $\frac{M}{H_1} = \frac{d^3 \tan\theta^\circ_1}{2}$।

$$\therefore \frac{H}{H_1} = \frac{\tan\theta_1^\circ}{\tan\theta^\circ} \quad \dots \quad \dots \quad (২৫)$$

(২) **কম্পন ম্যাগ্‌নেটোমিটার দ্বারা ঃ** মনে কর ক স্থানে M চুম্বকের দোলনকাল = T (৫৪ (২) অনুচ্ছেদে বর্ণিত পদ্ধতি অনুসারে নির্ণীত) এবং খ স্থানে একই চুম্বকের দোলনকাল = T_1 এবং ক ও খ স্থানে পার্থিব চৌম্বক ক্ষেত্রের অনুভূমিক তীব্রতা = H ও H_1

$$\therefore \quad n = \frac{1}{T} \;;\; n_1 = \frac{1}{T_1} \qquad \therefore \quad \frac{H}{H_1} = \frac{n^2}{n_1^2} \text{ (১৮ক সমীকরণ)}$$

$$\frac{T^2}{T_1^2} = \frac{4\pi^2.I}{MH} \times \frac{MH_1}{4\pi^2.1} = \frac{H_1}{H.}\text{।}$$

এই সমীকরণ হইতে $\frac{H_1}{H}$ পাওয়া যায়।

৫৮। ব্যস্তানুপাতিক বর্গ-সূত্রের প্রমাণ ঃ

(১) **বিক্ষেপ ম্যাগনেটোমিটার দ্বারা ঃ নীতি ঃ** আমরা পূর্বে দেখিয়াছি একই দূরত্ব d তে প্রান্ত-অবস্থানে ও পার্শ্ব-অবস্থানে অবস্থিত একই ক্ষুদ্র চুম্বকের দরুণ চৌম্বক তীব্রতা F ও F_1 নিম্নলিখিত সমীকরণ দ্বারা পাওয়া যায় ঃ

$$F = \frac{2M}{d^3} \text{ এবং } F_1 = \frac{M}{d^3}. \quad \therefore \quad F = 2F_1$$

ব্যস্তানুপাতিক বর্গসূত্র সত্য—ইহা ধরিয়া লইয়া উপরোক্ত সম্পর্ক পাওয়া

গিয়াছে। সুতরাং পরীক্ষার দ্বারা এই সম্পর্ক নির্ণয় করিলে আমরা ব্যস্তানুপাতিক বর্গসূত্রের সত্যতা প্রমাণ করিতে পারি।

পরীক্ষা ঃ (ক) ম্যাগ্‌নেটোমিটার যন্ত্রকে Tan A অবস্থানে রাখ। বিঃ চুম্বককে একটি বাহুতে d দূরত্বে রাখিয়া বিক্ষেপের ষোলবার পঠনের গড় θ° নির্ণয় কর। (খ) যন্ত্রকে Tan B অবস্থানে রাখ। বিঃ চুম্বককে d দূরত্বে রাখিয়া বিক্ষেপ $\theta_1{}^\circ$ নির্ণয় কর।

$\therefore \frac{F}{F_1} = \frac{\tan\theta^\circ}{\tan\theta_1{}^\circ} = 2$। পরীক্ষাব দ্বারা $\frac{\tan\theta^\circ}{\tan\theta_1} = 2$ পাওয়া যায়।

$\therefore$ ব্যস্তানুপাতিক বর্গসূত্র প্রমাণিত হইল।

(২) **কম্পন ম্যাগনেটোমিটার দ্বারা ঃ নীতি ঃ** যখন কোন চুম্বক কোন চৌম্বক ক্ষেত্রে কম্পিত হয় তখন কম্পনাঙ্কের বর্গ (n^2) ও চৌম্বক ক্ষেত্রের তীব্রতা H সমানুপাতিক হয় ($H \propto n^2$)।

পরীক্ষা ঃ (ক) মনে কর কেবল মাত্র পার্থিব চৌম্বক ক্ষেত্র Hএর জন্য যন্ত্রেব ভিতরের চুম্বকের কম্পনাঙ্ক $= n$ হয়। $\therefore \; H = Kn^2$।

(খ) একটি বলযুক্ত দীর্ঘ চুম্বক লম্বভাবে যন্ত্রের নিকট ধর যাহাতে যন্ত্রের ভিতরের চুম্বকের S মেরু হইতে একই অনুভূমিক তলে d দূরত্বে দীর্ঘ চুম্বকের N মেরু থাকে। বিক্ষেপকারী চুম্বক দীর্ঘ বলিয়া ইহার S মেরুর প্রভাব ভিতরেব চুম্বকের উপর নগণ্য হয়। এখন অতিরিক্ত চৌম্বক ক্ষেত্রেব জন্য ভিতরের চুম্বকের কম্পনাঙ্ক বাড়িয়া যাইবে। মনে কব ভিতরেব চুম্বকের উপর অতিরিক্ত চৌম্বক ক্ষেত্র $= F$, বর্ধিত কম্পনাঙ্ক $= n_1$।

$$\therefore \; H + F = K.n_1{}^2 .$$

(গ) এবার দীর্ঘ চুম্বকের N মেরুকে d_1 দূরত্বে পূর্বের অবস্থায় রাখ। মনে কর এখন ভিতরের চুম্বকের উপব অতিরিক্ত চৌম্বক ক্ষেত্র $= F_1$ এবং চুম্বকের কম্পনাঙ্ক $= n_2$

$$\therefore \; H + F_1 = Kn_2{}^2. \qquad \therefore \; F = K(n_1{}^2 - n^2)$$

$$\text{এবং } F_1 = K(n_2{}^2 - n^2) \quad (২৬)$$

$$\therefore \quad \frac{F}{F_1} = \frac{n_1^2 - n^2}{n_2^2 - n^2}. \qquad \cdots\cdots(২৭)$$

পরীক্ষার দ্বারা n, n_1, n_2, d ও d_1 পাওয়া গিয়াছে। গণনা করিয়া দেখা যায় যে $\frac{n_1^2 - n^2}{n_2^2 - n^2} = \frac{d_1^2}{d^2}$, সুতরাং $\frac{F}{F_1} = \frac{d_1^2}{d_2}$. ∴ সূত্র প্রমাণিত হয়।

৫৯। পার্থিব চৌম্বক ক্ষেত্রের (H) ও চৌম্বক ভ্রামকের (M) চরম absolute) মান নির্ণয় :

(১) **H নির্ণয় :**

(ক) বিক্ষেপ ম্যাগনেটোমিটার ব্যবহার করিয়া আমরা পাই :—

$$\frac{M}{H} = \frac{(d^2 - l^2)^2}{2d} \tan\theta = A \text{ (মনে কর)}$$

(খ) কম্পন ম্যাগনেটোমিটার ব্যবহার করিয়া আমরা পাই :—

$$MH = \frac{4\pi^2 I}{T^2} = B \text{ (মনে কর)}$$

এখানে চুম্বকের ভর (m), দৈর্ঘ্য ও প্রস্থ হইতে I গণনা করা যায়। A কে B দিয়া ভাগ করিলে

$$H = \sqrt{\frac{B}{A}} = \frac{2\pi}{T(d^2 - l^2)}\sqrt{\frac{2Id}{\tan\theta}}.$$

ইহা হইতে C. G. S এককে H এর মান পাই।

(২) **M নির্ণয় :** A কে B দিয়া গুণ করিয়া

$$M^2 = A \times B \qquad \therefore \quad M = \sqrt{A \times B}$$

৬০। মেরু-মাত্রার (M) তুলনা : কম্পন ম্যাগনেটোমিটার দ্বারা : ৫৮ অনুচ্ছেদের পরীক্ষা ও ২৬ নং সমীকরণ হইতে আমরা পাই

$$F = H\frac{n_1^2 - n^2}{n^2}.$$

মনে কর দীর্ঘ চুম্বকের মেরু-মাত্রা $= m_1$, যন্ত্রের ভিতরের চুম্বকের মেরু

মাত্রা $=m$ এবং দীর্ঘ চুম্বকের ভিতরের চুম্বক হইতে দূরত্ব $=d$, চৌম্বকক্ষেত্র $=F$

$$\therefore \quad F=\frac{m.\,m_1}{d^2}.$$

মনে কর দ্বিতীয় দীর্ঘ চুম্বকের মেরু মাত্রা $=m_2$, উহার দূরত্ব $=d_1{}^2$. চৌম্বক ক্ষেত্র $=F_1$.

$$\therefore \quad F_1=\frac{m\,m_2}{d_1{}^2}.$$

$$\therefore \quad \frac{F}{F_1}=\frac{m_1}{m_2}=\frac{n_1{}^2-n^2}{n_2{}^2-n^2}$$ (৫৮ অনুচ্ছেদের পরীক্ষা ও ২৭ সমীকরণ হইতে)

৬১। **চুম্বকের মেরু-মাত্রা (m) নির্ণয়ঃ** (i) যে কোন পদ্ধতিতে $\frac{M}{H}$ নির্ণয় কর। H জানিয়া M নির্ণয় কর। $M=2ml$—এই সম্পর্ক হইতে m নির্ণয় কর। $2l$ = চুম্বকের দৈর্ঘ্য. (ii) ৫৯ অনুচ্ছেদের (২) নিয়ম অনুসারে M নির্ণয় কর। ইহা হইতে m নির্ণয় কর।

অঙ্কঃ An iron bar 100 cms in length and 1 mm × 1 mm in section is uniformly magnetised and its period of vibration is found to be 5 seconds. It is then broken into two equal halves. What would be the period of vibration of each half ? (Pat. U. 1940).

মনে কর গোটা লৌহ দণ্ডের দোলনকাল $=T_1$ ও অর্ধেকের দোলনকাল $=T_2$.

$$T_1=2\pi\sqrt{\frac{I_1}{M_1H}}\,;\ T_2=2\pi\sqrt{\frac{I_2}{M_2H}}\quad \therefore \frac{T_2}{T_1}=\frac{\sqrt{I_2\times M_1}}{\sqrt{I_1\times M_2}}$$

এখন $I_1=\left\{\frac{100^2+(0{\cdot}1^2)}{12}\right\}\times W;\ I_2=\left\{\frac{(50)^2+(0{\cdot}1)^2}{12}\right\}\times\frac{W}{2}$

মনে কর মেরু-মাত্রা $=m \quad \therefore \quad M_1=100m, \quad M_2=50m.$

$$\therefore \quad \frac{T_2}{5}=\sqrt{\frac{2500{\cdot}01}{1000{\cdot}01}} \quad \therefore \quad T_2=2{\cdot}5 \text{ সেকেণ্ড।}$$

2. Two magnets A and B are caused to oscillate in the same magnetic field. A performs 15 vibrations per minute, B 10 vibrations per minute. A is then caused to oscillate in one magnetic field and B in another. A now performs 5 vibrations per minute, B 20 vibrations per minute. Compare the intensities of the field in which A and B now oscillate and compare the magnetic moments of the magnets. (P. 1931).

মনে কর প্রথম, দ্বিতীয় ও তৃতীয় ক্ষেত্রের চৌম্বক তীব্রতা $= H_1, H_2, H_3$

A চুম্বকের জন্য $H_1 \propto 15^2$ এবং $H_2 \propto 5^2$. $\therefore \frac{H_2}{H_1} = \frac{5^2}{12^2} = \frac{1}{9}$.

B চুম্বকের জন্য $H_1 \propto 10^2$ $H_3 \propto 20^2$.

$\therefore \frac{H_1}{H_3} = \frac{10^2}{20^2} = \frac{1}{4}$. $\therefore \frac{H_2}{H^3} = \frac{1}{9} \times \frac{1}{4} = \frac{1}{36}$.

মনে কর A ও B চুম্বকের চৌম্বক ভ্রামক $= M_1$ ও M_2.

$$\therefore \frac{M_1}{M_2} = \left(\frac{T_2}{T_1}\right)^2 \times \frac{I_1}{I_2} = \left(\frac{n^1}{n_2}\right)^2 \times \frac{I_1}{I_2} = \frac{9}{4} \times \frac{I_1}{I_2}$$

প্রশ্ন

1. What is meant by uniform magnetic field? Explain why a magnetic needle does not tend to move bodily along the lines of force in a uniform magnetic field.

(C. U. 1923 ; cf All '30)

2. Define the magnetic moment of a magnet. Find an expression for the moment of the couple acting on a magnet placed in the earth's horizontal magnetic field when it is deflected through an angle θ from the magnetic meridian.

(C. U 1932)

3. State and prove the law of tangent. How would you verify them experimentally? (Pat. 1926)

4. What do you understand by intensity of magnetisation ?
(Pat. 1943 ; All '44)

5. Prove that the magnetic force due to a short magnet at great distances compared with its length varies inversely as the cube of the distance for points along the direction of its axis, or in the planet through the centre of the magnet perpendicular to its axis. How would you verify these results experimentally ? (Pat. 1921. '23)

6. Find the strength of the field due to a bar magnet at a point on the line bisecting the magnet at right angles.
(Pat. 1944)

Describe and explain the behaviour of a small compass needle placed at that point, if the bar-magnet is placed with its north pole pointing due east. (Pat. 1911)

7. A magnet whose poles are 12 cms. apart is placed in the magnetic meridian. The field due to this magnet counterbalances the earth's horizontal field (0·35 C. G. S. unit) at a point 10 cms. from each pole. Find the pole strength of the magnet. (Pat. 1944)

[Ans. : $10\sqrt{2}$]

8. A small magnetic needle, suspended by means of a silk-fibre, makes 20 oscillations per minute in the earth's field. When a bar magnet is placed in the magnetic meridian near the needle, the number of oscillations is increased to 25 per minute. If the bar magnet be reversed and replaced in its former position, how many oscillations will the needle make per minute ? (Pat 1947)

[Ans. : $5\sqrt{7}$]

9. How would you prove the law of inverse squares for magnetic forces, given (a) a magnetised rod of steel about a metre long, (b) a small suspended magnetic needle, (c) a measuring rod, and (d) a stop watch.
(C. U. 1910 ; cf. Pat 1918, '44)

10. How would you prove experimentally that the force of attraction or repulsion between two magnetic poles varies inversely as the square of the distance between them ?

(C. U. 1934 ; Pat. 49)

11. Describe some form of a magnetometer, and explain how you could use it to compare the magnetic moments of two magnets. (Pat. 1947)

12. Describe a method of measuring the moment of a magnet. (All 1932)

13. How would you determine the horizontal intensity in your laboratory with the help of a deflection magnetometer and a suspension arrangement. Give a complete theory.

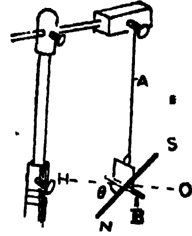
(Pat. 1944)

ভূ-চুম্বকত্ব (Terrestrial Magnetism)

৬২। পৃথিবী একটি বিরাট চুম্বক : নিম্নলিখিত দুইটি পরীক্ষা হইতে পৃথিবীকে একটি বিরাট চুম্বক ধরা হয় :—

পরীক্ষা : (ক) চতুঃপার্শ্বে অন্য কোন চুম্বক না থাকিলে ভারকেন্দ্রে আলম্বিত বা বিলম্বিত একটি সূচী-চুম্বক সর্বদাই প্রায় ভৌগোলিক উত্তর-দক্ষিণ দিকে মুখ করিয়া স্থির থাকে। ইহাকে স্থির-অবস্থান হইতে নাড়াইয়া দিলেও কয়েকবার কম্পিত হইবার পর পুনরায় প্রায় উত্তর-দক্ষিণ মুখ করিয়া স্থির হয়। পরীক্ষায় আরও দেখা গিয়াছে যে সূচী-চুম্বকের মুখ ঠিক ভৌগোলিক উত্তর-দক্ষিণে থাকে না অর্থাৎ পৃথিবীর ভৌগোলিক মেরু ও চৌম্বক মেরু এক নহে। (খ) একটি অতি ক্ষুদ্র সূচী-চুম্বককে ভারকেন্দ্র

হইতে রেশম সুতা দিয়া ঝুলাইয়া দাও। এইরূপ চুম্বকের অক্ষ ঠিক অনুভূমিক ভাবে থাকে না। কোন স্থানে চৌম্বক অক্ষ সেই স্থানের অনুভূমিক রেখার সহিত একটু কোণে ঝুঁকিয়া থাকে। উত্তর গোলার্ধে চুম্বকের উত্তর মেরু নীচের দিকে ঝোঁকে (dips), দক্ষিণ গোলার্ধে দক্ষিণ মেরু নীচের দিকে ঝোঁকে। বিষুবরেখায় চৌম্বক অক্ষ অনুভূমিক থাকে। অর্থাৎ বিষুবরেখায় চৌম্বক-অক্ষ অনুভূমিক রেখার সহিত O° কোণ উৎপন্ন করে। মেরুতে চুম্বক লম্ব হয় অর্থাৎ চৌম্বক অক্ষ অনুভূমিক রেখার সহিত ৯০° কোণ উৎপন্ন করে। (চিত্রে NS চুম্বক অনুভূমিক রেখা HOর সহিত θ কোণে ঝুঁকিয়া আছে)

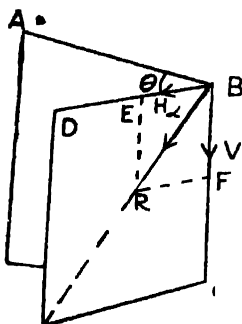


৪৩নং চিত্র

সিদ্ধান্ত ঃ এই দুই পরীক্ষা হইতে সিদ্ধান্ত করা হইয়াছে যে (i) পৃথিবী একটি বিরাট চুম্বক (ii) পৃথিবীকে ঘিরিয়া চতুর্দিকে চৌম্বক ক্ষেত্র বর্তমান। এই চৌম্বক ক্ষেত্রের তীব্রতা বিভিন্ন অঞ্চলে বিভিন্ন পরিমাণের হয়। (iii) পৃথিবীর সর্বত্র দক্ষিণ অঞ্চল হইতে উত্তর অঞ্চলে বলরেখা অতিক্রম করে। (iv) পৃথিবীর চৌম্বক মেরু ও ভৌগোলিক মেরু এক নহে। (v) আকর্ষণ ও বিকর্ষণের নিয়মানুসারে পৃথিবীর উত্তর অঞ্চলে দক্ষিণ চৌম্বক মেরু এবং দক্ষিণ অঞ্চলে উত্তর চৌম্বক মেরু অবস্থিত। (vi) পৃথিবীর দুই চৌম্বক মেরু পরস্পর এত দূরে অবস্থিত যে অল্প পরিসর স্থানে চৌম্বক রেখাকে সমান্তরাল ধরা হয়। (vii) পৃথিবীর উপর চৌম্বক ক্ষেত্র খুব অনির্য়মিত ভাবে বিস্তৃত। ভূ-চুম্বকত্বের কারণ সম্পর্কে সঠিক কিছু জানা যায় নাই। সত্য সত্যই পৃথিবীর কোথায় কোন চুম্বক নাই। তবে পৃথিবী চুম্বকের মত আচরণ করে।

৬৩। **সংগা ঃ** পূর্বে বলা হইয়াছে যে ভূ-চুম্বকত্বের অভিমুখ অনুভূমিক হয় না। সূচী-চুম্বকের অক্ষই ভূ-চুম্বকত্বের লব্ধি বলের অভিমুখ নির্দেশ করে। যে কোন স্থানে চুম্বকের অক্ষ অর্থাৎ ভূ-চুম্বকত্বের লব্ধি বল-রেখা অনুভূমিক তলের সহিত যে কোণ উৎপন্ন করে তাহাকে **বিনতি কোণ** (Angle of

Dip or Inclination) বলে (৪৩ নং চিত্রে θ° বিনতি কোণ)। মনে কর BR রেখা B বিন্দুর মধ্য দিয়া অতিক্রান্ত পার্থিব লব্ধি বলরেখার অভিমুখ প্রকাশ করে। BD রেখায় অনুভূমিক তল ও চৌম্বকতল পরস্পর ছেদ করে।



৪৪ নং চিত্র

∴ <DBR = B বিন্দুতে বিনতি কোণ = ∝। পৃথিবীর যে দুই স্থানে বিনতি কোণ ৯০° সেই দুই স্থানকে পৃথিবীর **চৌম্বক মেরু** বলে। চৌঃ উত্তর মেরু কানাডায় বোথিয়া ফেলিক্স নামক স্থানে (৭০°৫′ উঃ অক্ষাংশ এবং ৯৬°৪৬′ পঃ . দ্রাঘিমায়) আবিষ্কৃত হইয়াছে। ইহা ভৌগোলিক উত্তর মেরু হইতে প্রায় ১৩০০ মাইল পশ্চিমে। চৌঃ দক্ষিণ মেরু দক্ষিণ ভিক্টোরিয়ায় ৭৩° দঃ অক্ষাংশে এবং ১৫৫° পূঃ দ্রাঘিমায়) আবিষ্কৃত হইয়াছে। এই দুই মেরুর অবস্থান ধীরে ধীরে পরিবর্তিত হয়। দুই চৌম্বক মেরু সংযোজক কাল্পনিক রেখাকে **চৌম্বক অক্ষ** এবং ভৌগোলিক মেরু সংযোজক কাল্পনিক রেখাকে **ভৌগোলিক অক্ষ** বলে। দুই অক্ষই পৃথিবীর কেন্দ্রের মধ্য দিয়া যায়। দুই অক্ষের মধ্যবর্তি কোণ প্রায় ১৭°।

বিষুবরেখার নিকট পৃথিবীর যে দুই স্থানে বিনতি কোণ = O° সেই দুই স্থান সংযোজক রেখাকে **চৌম্বক বিষুবরেখা** বলে। কোন স্থানে মুক্ত সূচী-চুম্বকের অক্ষের মধ্য দিয়া অর্থাৎ চৌম্বক উত্তর ও দক্ষিণ মেরুর মধ্য দিয়া অঙ্কিত কাল্পনিক অভিলম্ব তলকে (vertical plane) **চৌম্বক মধ্যতল বা মধ্যরেখা** (Magnetic Meridian) বলে। কোন স্থানের মধ্য দিয়া এবং ভৌগোলিক উত্তর ও দক্ষিণ মেরুর মধ্য দিয়া অঙ্কিত কাল্পনিক অভিলম্ব তলকে **ভৌগোলিক মধ্যতল বা মধ্যরেখা** বলে। কোন স্থানের ভৌগোলিক মধ্যতল ও চৌম্বক মধ্যতলের মধ্যবর্তি কোণকে **চ্যুতি কোণ** (Declination or Variation) বলে। মনে কর DB রেখা একটি মুক্তভাবে বিলম্বিত সূচী-চুম্বকের অক্ষ প্রকাশ করে। BC রেখা OM রেখার যে কোন বিন্দু O হইতে অঙ্কিত লম্ব রেখা প্রকাশ করে। DB ও BC রেখাদ্বয়ের

মধ্য দিয়া অঙ্কিত অভিলম্ব তল DBC হইল চৌম্বক মধ্যতল। BA রেখা O বিন্দুতে উত্তর-দক্ষিণ দিক প্রকাশ করে। ∴ OG ও OC রেখাদ্বয়ের মধ্য দিয়া অঙ্কিত অভিলম্ব তলকে ভৌগোলিক মধ্যতল বলে। MOC ও GOC তলদ্বয়ের মধ্যবর্তি কোণ = চ্যুতি-কোণ। ভৌগোলিক মধ্যতলের পূর্বে বা পশ্চিমে যে কোণে সূচী-চুম্বকের উত্তর মেরু অবস্থান করে তাহা দিয়া ইহা মাপা হয়। "কলিকাতার চ্যুতি-কোণ ১°১০′ পূঃ" বলিলে বোঝায় যে কলিকাতায় কোন সূচী-চুম্বকের উত্তর মেরু ভৌগোলিক মধ্যতল হইতে ১°১০′ পূর্বে সরিয়া যাইবে। এই চ্যুতি-কোণ জাহাজ পরিচালনায় বিশেষ কাজে লাগে। পৃথিবীর বিভিন্ন অঞ্চলে চ্যুতি-কোণ ও বিনতি-কোণ বিভিন্ন হয়।

৬৪। **ভূ-চুম্বকত্বের উপাদান (Elements):** পৃথিবীর কোন অঞ্চলে ভূ-চুম্বকত্বের সঠিক জ্ঞানের জন্য তিনটি উপাদান জানা দরকার :— (ক) চ্যুতি-কোণ, (খ) বিনতি-কোণ ও (গ) ভূ-চুম্বকত্বের অনুভূমিক উপাংশ। ৪৪নং চিত্রে যদি O বিন্দুতে OD ভূ-চুম্বকত্বের মোট মাত্রা I প্রকাশ করে তবে বলের সামন্তরিক সূত্রানুসারে OB ও OC রেখা যথাক্রমে I এর অনুভূমিক উপাংশ H ও অভিলম্ব উপাংশ V প্রকাশ করে ∴ $H = I\cos\theta$, $V = I\sin\theta$

$$\therefore \quad \frac{V}{H} = \tan\theta$$

৬৫। **চ্যুতি-কোণ নির্ণয়:** কোন স্থানে চ্যুতি-কোণ নির্ণয় করিতে হইলে সেই স্থানের প্রথমে (ক) ভৌগোলিক মধ্যতল ও (খ) চৌম্বক মধ্যতল নির্ণয় করিতে হয় :—

(ক) ভৌগোলিক মধ্যতল: মধ্য-রেখায় সূর্যের বা নক্ষত্রের অবস্থান পর্যবেক্ষণ করিয়া ভৌগোলিক মধ্যতল নির্ভুল ভাবে নির্ণয় করা যায়। নিম্নলিখিত উপায়ে মোটামুটি বাহির করা যায় :—কোন ফাঁকা জায়গায় একটি সমতল মসৃণ টেবিলের উপর একটি দণ্ড লম্বভাবে পোঁত। এক ফুট ব্যাসার্ধ লইয়া দণ্ডকে কেন্দ্র করিয়া একটি বৃত্ত আঁক। সূর্য আকাশে

যত উপরে উঠে দণ্ডের ছায়া তত ক্ষুদ্রতর হইতে থাকে এবং এক সময়ে ছায়ার প্রান্ত বৃত্ত স্পর্শ করে। এই স্পর্শ-বিন্দুতে দাগ দাও। পুনরায় বিকালে যেখানে ছায়ার প্রান্ত বৃত্তকে স্পর্শ করে সেখানে দাগ দাও। বৃত্তের কেন্দ্র হইতে দুইটি রেখা টানিয়া এই দুই বিন্দু যোগ কর। দুই রেখার মধ্যবর্তি কোণকে সমদ্বিখণ্ডিত কর। এই দ্বিখণ্ডকের মধ্য দিয়া অঙ্কিত অভিলম্ব তলই ভৌগোলিক মধ্যতল। রাত্রিতে ধ্রুব নক্ষত্র দেখিয়া ভৌগোলিক মধ্যতল নির্ণয় করিতে হয়।

(খ) চৌম্বক মধ্যতল নির্ণয়ঃ চৌম্বক অক্ষের অভিমুখ চৌম্বক মধ্যতল প্রকাশ করে সুতরাং মুক্তভাবে বিলম্বিত চুম্বকের চৌম্বক অক্ষ হইতে চৌম্বক মধ্যতল

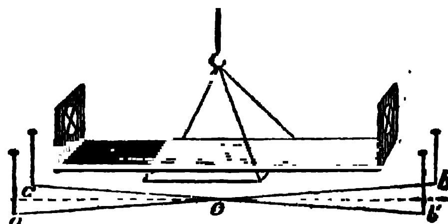


৪৫ নং চিত্র

পাওয়া যাইতে পারে কিন্তু চুম্বকের জ্যামিতিক অক্ষ ও চৌম্বক অক্ষ এক নাও হইতে পারে। নিম্নলিখিত উপায়ে এই ভুল অপনোদন করা হয়। মনে কর কোন সূচী-চুম্বকের AB হইল জ্যামিতিক অক্ষ এবং CD হইল চৌম্বক অক্ষ। যখন বিলম্বিত AB চুম্বক স্থির হয় তখন NS চৌম্বক মধ্যতল CD অভিমুখে থাকে। মনে কর চুম্বককে উপর-নীচে উল্টাইয়া ঝুলাইয়া দিলে চুম্বক A^1B^1 অবস্থানে আসে CD এইবারও চৌম্বক মধ্যতলে থাকে। ৫৫নং চিত্র হইতে দেখা যায় যে চৌম্বক অক্ষ CD (সুতরাং চৌম্বক মধ্যতল NS) AB ও A^1B^1র মধ্যবর্তি কোণকে সমদ্বিখণ্ডিত করে।

পরীক্ষাঃ একটি দণ্ড-চুম্বকের প্রস্থের সমান চারকোণা দুইটি শক্ত কাগজ বা পাতলা কার্ড বোর্ড লও। উহাদের মাঝখানে একটি গোলাকার ছিদ্র কর। প্রত্যেক ছিদ্রে দুইটি রেশম সূতা আড়াআড়ি ভাবে ক্রশ চিহ্নের মত বাঁধ। কাগজখণ্ড দণ্ড-চুম্বকের দুই প্রান্তে লম্বভাবে আটকাও। C রেশম সূতার ফাঁসে (loop) দণ্ড-চুম্বককে রাখিয়া D আলগা সূতা দিয়া

ঝুলাইয়া দাও। চুম্বক স্থির হইলে চোখ এমন জায়গায় রাখ যাহাতে প্রত্যেক ছিদ্রের দুই সুতার ছেদ-বিন্দু এক রেখায় দেখা যায়। এই রেখা বরাবর চুম্বকের দুই প্রান্তে টেবিলের উপর দুইটি পিন পোঁত। চুম্বককে উপর-

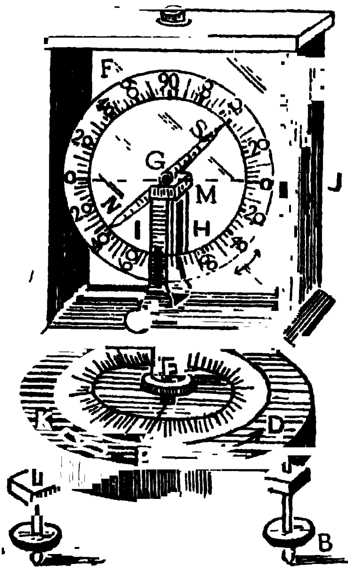


৪৬ নং চিত্র

নীচে উল্টাইয়া রেশম সুতার ফাঁসে রাখ এবং এবারও দুইটি পিন পোত। দুই জোড়া পিন দুইটি রেখা দ্বারা যোগ কর। যদি চৌম্বক অক্ষ ও জ্যামিতিক অক্ষ এক না হয় তবে দুই রেখা পৃথক হইবে। দুই রেখার মধ্যবর্তি কোণকে সমদ্বিখণ্ডিত কর। দ্বিখণ্ডকই হইল চৌম্বক অক্ষ। দ্বিখণ্ডকের মধ্য দিয়া যে অভিলম্ব তল অতিক্রম করে তাহাই চৌম্বক মধ্যতল। ভারতবর্ষে চৌম্বক মধ্যতল ও ভৌগোলিক মধ্যতলের মধ্যে পার্থক্য খুব কম।

৬৬। **বিনতি-কোণ নির্ণয়ঃ বিনতি-চক্র** (Dip Circle) নামক যন্ত্র দিয়া বিনতি-কোণ মাপা হয়। এই যন্ত্রে নিম্নলিখিত অংশ থাকে: (ক) একটি গোলাকার অংশাঙ্কিত অনুভূমিক পিতলের চাকতি D র নীচে তিনটি স্ক্রু থাকে। (খ) একটি সমাক্ষ (co-axial) ধাতব পাত E চাকতির কেন্দ্রে অবস্থিত। এই পাতের সঙ্গে P কাঁটা যুক্ত থাকে। কাঁটাটি চাকতির অংশাঙ্কনের উপর ঘোরে। (গ) পাতের সঙ্গে দুইটি থাম H ও I যুক্ত থাকে। একটি ছোট চুম্বকের (N S) ভারকেন্দ্রের মধ্য দিয়া অতিক্রান্ত পাখি (axle) G কে একটি অপর অংশাঙ্কিত লম্ব বৃত্ত F র কেন্দ্রে অ্যাগেট ক্ষুর-ধারের উপর রাখা হয়। ক্ষুর-ধার দুইটি H ও I থামের উপর রাখা হয়। F বৃত্ত ও NS

চুম্বক একটি কাঁচের বাক্স J র মধ্যে থাকে। বৃত্ত ও চুম্বক সমেত এই বাক্সকে একটি লম্ব অক্ষের চারিধারে আবর্তন করা যায় এবং আবর্তন কোণ P কাটার দ্বারা মাপ হয়। (ঘ) K একটি স্পিরিট লেভেল।



৪৭ নং চিত্র

নীতি ঃ যখন চুম্বক চৌম্বক মধ্যতলে (M O C এর তলে) থাকে তখন O বিন্দুতে চুম্বক ভূ-চৌম্বকত্ব I এর অনুভূমিক উপাংশ H ও অভিলম্ব উপাংশ V দ্বারা ক্রিয়ান্বিত হয়। যখন J বাক্স ঘুরাইয়া চুম্বককে চৌম্বক মধ্যতলের কোন অভিলম্ব তলে আনা হয় তখন H উপাংশ চুম্বকের উপর কোন ক্রিয়া করে না। কেবল V উপাংশের ক্রিয়ায় চুম্বক **লম্বভাবে** থাকে। সুতরাং যে তলে চুম্বক ক্ষুর-ধারের উপর লম্বভাবে থাকে সেই তল চৌম্বক মধ্যতলের উপর অভিলম্ব হয়।

পদ্ধতি : (ক) স্ক্রু ঘুরাইয়া ও স্পিরিট লেভেল দ্বারা যন্ত্রকে লেভেল কর। (খ) J বাক্সকে ঘুরাইয়া যাও যতক্ষণ না চুম্বক অভিলম্ব হয় অর্থাৎ চুম্বকের দুই মেরু অভিলম্ব স্কেলে ৯০°—৯০° অবস্থানে থাকে। এই অবস্থানে চুম্বকের তল (বা F বৃত্তের তল) চৌম্বক মধ্যতলের উপর অভিলম্ব হয়। অনুভূমিক স্কেল D এর উপর P কাটার অবস্থান লিখ। (গ) J বাক্সকে P কাটার আবর্তন মাপিয়া ৯০° ঘুরাও। এখন F বৃত্তের তল এবং চুম্বক চৌম্বক মধ্যতলে থাকে এবং চুম্বক এখন লব্ধি বলের অভিমুখ নির্দেশ করে। F বৃত্তে চুম্বকের অক্ষ 0°-0° অনুভূমিক রেখার সহিত যে কোণ উৎপন্ন করে তাহা পড়। এই কোণ— বিনতি-কোণ।

দোষ অপনোদন ঃ (ক) আবর্তন অক্ষ F বৃত্তের কেন্দ্রের মধ্য দিয়া নাও যাইতে পারে সেইজন্য চুম্বকেব দুই প্রান্তের অবস্থানেব পঠন লইতে হয়; (খ) 0°-0° দাগ অনুভূমিক নাও হইতে পারে সেইজন্য J বাক্সকে ১৮০° ঘুরাইয়া চুম্বকের দুই প্রান্তের অবস্থানের পঠন লইতে লয়। (গ) চুম্বকেব চৌম্বক অক্ষ ও জ্যামিতিক অক্ষ এক নাও হইতে পারে সেইজন্য চুম্বককে ক্ষুর ধারের উপব উল্‌টাইয়া রাখিতে হয়। উপরোক্ত (ক) ও (খ) পদ্ধতিতে মোট ৮ বাব পঠন লও। (ঘ) আবর্তন-অক্ষ ভারকেন্দ্রের মধ্য দিয়া নাও যাইতে পাবে সেইজন্য বিপরীত দিকে চুম্বককে পুণচুম্বকন কর যাহাতে পূর্বে চুম্বকের যে মেরু নিচেব দিকে ছিল এখন তাহা উপব দিকে উঠে। এই অবস্থায় (ক), (খ) ও (গ) পদ্ধতিতে পঠন লও। মোট ১৬ বার পঠনের গড়= বিনতি-কোণ।

৬৭। **ভু-চৌম্বকত্বের মাত্রা** (Intensity) I : (i) I **এর মান :**

যদি লব্ধি বল = I হয় ও বিনতি = $\theta°$ হয় তবে $H = I\cos\theta$. H বিক্ষেপ ও কম্পন ম্যাগ্‌নেটোমিটাব দ্বারা নির্ণয় কবা যায়। θ বিনতি-চক্র দ্বাবা নির্ণয় করা যায়। সুতবাং I এব মান পাওয়া যায়।

(ii) I **এর অভিমুখ ঃ** চৌম্বক মধ্যতলে চৌম্বক অক্ষের অভিমুখই I এব অভিমুখ হয়।

চৌম্বক বিষুববেখায় I এব মান খুব কম হয়। ইহা অক্ষাংশের সহিত বাড়িয়া মেরুতে সবাপেক্ষা বেশী হয়।

বিভিন্ন স্থানের চ্যুতি-কোণ, বিনতি-কোণ ও H এর মান :—

স্থানের নাম	চ্যুতি-কোণ	বিনতি-কোণ	H (C. G. S)
কলিকাতা	১°২০′ পূঃ	২৯° ৫৫′ উঃ	·৩৭২৫
ঢাকা	১°১১′ পূঃ	৩২° ২৬′ উঃ	·৩৭০৮
নিউ ইয়র্ক	১০°১৪′ পঃ	৭২° ১৩′ উঃ	·১৮২২
গ্রীণ উইচ	১৫°৪৮′ পঃ	৬৬° ৫৪′ উঃ	·১৮৫৩

অঙ্ক ঃ At A the total magnetic intensity is 0·5 and the

angle of dip 68°, while at B the total intensity is 0·55 and the angle of dip 72°. Compare the horizontal intensities at the two places given cos 72° = 0·3090, cos 68° = 0·3746.

(C. U. 1935)

$$H_A = I \cos 68^\circ = 0{\cdot}5 \times 0{\cdot}3746$$

$$H_B = I \cos 72^\circ = 0{\cdot}55 \times 0{\cdot}3090$$

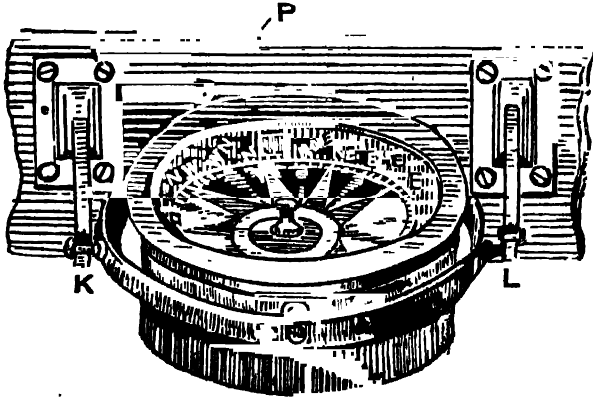
$$\therefore \frac{H_A}{H_B} = \frac{0{\cdot}5 \times 0{\cdot}3746}{0{\cdot}55 \times 0{\cdot}3090} = 1{\cdot}21 \times \frac{10}{11}$$ মোটামুটি।

৬৮। **ভূ-চুম্বকত্বের উপাদানের পরিবর্তন**ঃ নানা কারণে ভূ-চুম্বকত্বের এই সকল উপাদানগুলি বিভিন্ন সময়ে ও বিভিন্ন স্থানে পরিবর্তিত হয়। এই সাময়িক পরিবর্তনগুলি তিন প্রকার :—দৈনিক (daily), বার্ষিক (annual), ক্রমিক পর্য্যাবৃত্ত (secular); আকস্মিক অনিয়মিত ও ব্যাপক চৌম্বকত্বের পরিবর্তনকে **চৌম্বক ঝড়** বলে।

৬৯। **চৌম্বক মানচিত্র** (Magnetic Map) :—পৃথিবীর বিভিন্ন স্থানে চৌম্বক উপাদান নির্ণীত হইয়াছে। দেখা গিয়াছে যে পৃথিবীর কতকগুলি স্থানে কোন কোন উপাদানের মান এক হয়। মাঝে মাঝে উপাদানগুলির মাপ লওয়া হয়। সেই সকল মাপ দ্বারা মানচিত্র আঁকা হয়। যে রেখা সমচ্যুতি সম্পন্ন জায়গাগুলিকে যোগ করে তাহাকে Isogonic রেখা বলে। ৫° অন্তর এই সকল রেখা আঁকা হয়। শূন্য চ্যুতিসম্পন্ন জায়গা সংযোজক রেখাকে Agonic রেখা বলে। সম বিনতি সম্পন্ন জায়গা সংযোজক রেখাকে Isoclinic রেখা বলে। শূন্য বিনতি সম্পন্ন জায়গা সংযোজক রেখাকে Aclinic রেখা বা **চৌম্বক বিষুবরেখা** (Magnetic Equator) বলে। সুতরাং চৌম্বক বিষুবরেখার উপর অবস্থিত সব জায়গায় বিনতি = 0°. সম অনুভূমিক উপাংশ (horizontal component) H সম্পন্ন জায়গা সংযোজক রেখাকে Isodynamic রেখা বলে।

৭০। **দিগদর্শন যন্ত্র** (Compass) : এই যন্ত্র দিয়া সমুদ্রে নাবিকগণ দিক্ নির্ণয় করেন। এই যন্ত্রে একটি চাকতির নীচে একটি সূচী-চুম্বক আঁটা

থাকে। সূচী-চুম্বক ঘুরিলে চাকতিও সঙ্গে সঙ্গে ঘোরে। চাকতির পরিধি ৩২টি দিকে ভাগ করা থাকে। দিকগুলিকে দিক্‌দর্শন যন্ত্রের বিন্দু (point) বলে। সূচী-চুম্বকের অক্ষ বরাবর উত্তর-দক্ষিণরেখা চিহ্ন করা থাকে। N মেরুকে মুকুট (crown) চিহ্ন করা থাকে। অর্ধগোলাকার পাত্র (bowl) Bর তলদেশে লম্বভাবে আবদ্ধ একটি কীলকের উপর অনুভূমিকভাবে সূচী-চুম্বক স্থাপিত হয়। জাহাজের আন্দোলনে যাহাতে পাত্রটি না দোলে এবং যাহাতে উহা সব সময়েই অনুভূমিক থাকে সেইজন্য পাত্রটি একটি আংটা-Cর সহিত



৪৬ নং চিত্র

দুইটি বিপরীত বিন্দুতে আঁটা থাকে। আবার আংটা C একটি কাঠের ফ্রেম Pর সহিত দুইটি বিপরীত বিন্দুতে আঁটা থাকে। সুতরাং পাত্রের আবর্তন-অক্ষ (axis of rotation) ও C আংটার আবর্তন অক্ষ পরস্পর সমকোণে অবস্থিত।' ইহাকে Gimbal ব্যবস্থা বলে। কোন স্থানের উত্তর দিক নির্দেশ করিতে হইলে নৌপঞ্জিকা (nautical almanac) হইতে সেই স্থানের চ্যুতি-কোণ নির্ণয় করিতে হয়। মনে কর ইহা θ° পূঃ অর্থাৎ মুকুট চিহ্নিত বিন্দু (অর্থাৎ N মেরু) প্রকৃত উত্তর দিকের θ° পূর্বে অবস্থিত সুতরাং সূচীচুম্বকের পঠনের θ° পশ্চিমে প্রকৃত উত্তর দিকে হইবে।

দিক্‌দর্শন যন্ত্রের নির্ভুল কার্যকারিতার জন্য নিম্নলিখিত সর্তগুলি পালিত হওয়া দরকার,—(ক) সূচীচুম্বকের চুম্বকত্ব স্থায়ী হওয়া দরকার।

(খ) সমুদ্রে তরঙ্গের প্রবল আন্দোলনে যন্ত্র স্থির হওয়া উচিৎ। (গ) চাকতির উপর চিহ্নিত উত্তর-দক্ষিণ রেখা চৌম্বক অক্ষের সহিত মেলা উচিৎ। (ঘ) স্থচীচুম্বকের যে কোন কম্পন শীঘ্র বন্ধ করা উচিৎ। এই সকল সর্ত পালন করিবার জন্য স্থচীচুম্বক খুব ক্ষুদ্র হওয়া দরকার, চৌম্বক ভ্রামক বড় হওয়া দরকার, এবং T বেশী হওয়া দরকার। কেল্‌ভিন (Kelvin) যন্ত্রে একটি এ্যালুমিনিয়াম আংটা হইতে ৮টি ক্ষুদ্র সমান্তরাল স্থচী-চুম্বক ঝুলান থাকে। এই ব্যবস্থায় প্রথম তিনটি সর্ত পালিত হয়। পার্থিব চৌম্বকত্বের আবেশে জাহাজের সকল প্রকার লৌহ চুম্বকিত হয়। স্থতরাং যন্ত্রের স্থচীচুম্বক এই সকল আবিষ্ট চুম্বকের দ্বারা প্রভাবিত হয়। যন্ত্রের নিকট নরম লোহা কিংবা স্থায়ী চুম্বক রাখিয়া এই দোষ দূরীভূত হয়।

প্রশ্ন

1. How would you show that the earth is a magnet. (C. U. 1927, '45 ; All D '24)

2. What are the magnetic elements of a place ? Briefly describe a method of finding each of them. (Pat. 1930 ; All 346)

3. Define the horizontal intensity, vertical intensity and dip as applied to terrestrial magnetism.

4. What is the earth's horizontal intensity ? Explain what observations are necessary for the determination of total intensity of earth's magnetic field at any given place. (C.U. 1947)

5. Prove that the earth's action on a magnet is simply a directive one. (C. U. 1928)

6. A bar magnet is provided to you such that its poles are not in the axis of symmetry. Show how you will use it to determine the magnetic meridian. (Pat. 1928 ; cf Pat. 1930 ; cf C. U. '42)

8. Describe carefully how would you proceed to determine the direction of the resultant force of the earth's magnetism at a given point. (Pat. 1927)

9. What is Mariner's compass and how is it used ? (C. U. 1945)

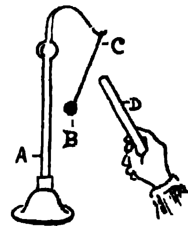
ষষ্ঠ খণ্ড

স্থিতীয় (Statical) বা ঘর্ষণ (Frictional) তড়িৎ

প্রাথমিক নীতি

১। **ঘর্ষণ তড়িৎ পরীক্ষা:** (ক) একটি কাচদণ্ডকে রেশম দিয়া, কিংবা একখণ্ড চাঁচ গালাকে (sealing-wax) বা আবলুস কাঠকে (ebonite) ফ্লানেল দিয়া বা বিড়ালের চামড়া দিয়া কয়েকবার ঘর্ষণ করিয়া ইহাদের কয়েক টুকরা কাগজের উপর ধর। কাগজের টুকরাগুলি ইহাদের দ্বারা আকৃষ্ট হইয়া স্পর্শ করে, তারপর বিকৃষ্ট হইয়া দূরে চলিয়া যায়। ঘর্ষণে উৎপন্ন কাচের, গালার বা কাঠের এই অবস্থাকে **তড়িতাহিত** (electrified or excited) অবস্থা বলে। যে অদৃশ্য শক্তি ঘর্ষণের জন্য পদার্থকে আকর্ষণ করিবার বল দান করে তাহাকে **তড়িৎ** বলে। ঘর্ষণে উৎপন্ন তড়িৎকে **ঘর্ষণ তড়িৎ** বা **স্থিতীয় তড়িৎ** বলে।

২। **দুই প্রকার তড়িৎ: পরীক্ষা:** একটি দণ্ড A হইতে একটি শুষ্ক রেশম সূতা C দিয়া একটি ছোট কর্কের বল B (pith-ball) ঝোলাও। একটি কাচদণ্ড Dকে রেশম দিয়া ঘর্ষণ করিয়া কাচদণ্ডকে বলের কাছে ধর। বল কাচদণ্ড দ্বারা আকৃষ্ট হয় এবং কাচদণ্ডকে স্পর্শ করে এবং তৎক্ষণাৎ কাচদণ্ড দ্বারা বিকৃষ্ট হয়। কাচদণ্ডকে বলের নিকট লইয়া যাইলে বল আরও সরিয়া যায়।



১ নং চিত্র

(খ) একখণ্ড ফ্লানেল দিয়া একখণ্ড চাঁচ গালা ঘর্ষণ করিয়া গালাকে একই

প্রণালীতে বিলম্বিত অপর একটি কর্কের বলের নিকট ধর। বল গালা দ্বারা আকৃষ্ট হয়, গালাকে স্পর্শ করে, তারপর বিকৃষ্ট হয়।

(গ) দ্বিতীয় বলের নিকট উপরোক্ত কাচদণ্ড আন। কাচদণ্ড বলকে আকর্ষণ করে।

(ঘ) প্রথম বলের নিকট উপরোক্ত গালাকে আন। গালা বলকে আকর্ষণ করে।

(ঙ) দুইটি কর্কের বল লও। দুইটিকেই হয় কাচদণ্ড বা গালা দিয়া স্পর্শ করাও। বল দুইটি পরস্পর বিকর্ষণ করে। কিন্তু একটিকে কাচদণ্ড দিয়া স্পর্শ করাও। অপর বল আকৃষ্ট হয়।

সিদ্ধান্তঃ (ক) কাচদণ্ড ও গালা দুইটি বিভিন্ন প্রকার তড়িৎ সম্পন্ন হয়। পুরাকালে রেশম ও কাচের ঘর্ষণে কাচে উৎপন্ন তড়িৎকে Vitreous তড়িৎ এবং চামড়া বা ফ্লানেল ঘর্ষণে গালায় উৎপন্ন তড়িৎকে Resinous তড়িৎ বলা হইত। পরে পরীক্ষায় দেখা যায় যে কাচকে বিড়ালের চামড়া দিয়া ঘর্ষণ করিলে কাচে Resinous তড়িৎ উৎপন্ন হয়। সুতরাং পরে বৈজ্ঞানিকগণ Vitreous তড়িৎকে **ধনাত্মক** (Positive) তড়িৎ এবং Resinous তড়িৎকে **ঋণাত্মক** (Negative) তড়িৎ নামকরণ করেন।

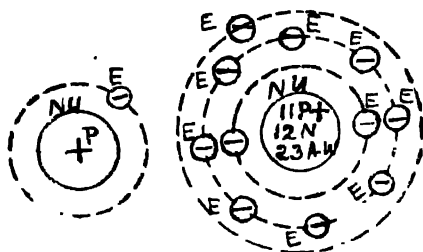
✓৩। **আকর্ষণ ও বিকর্ষণের নিয়ম**ঃ (ক), (গ), (ঘ) ও (ঙ) পরীক্ষা হইতে আমরা নিম্নলিখিত নিয়ম পাইঃ (১) **সম** (like) **তড়িৎ বিকর্ষণ করে।** (২) **অসম** (unlike) **তড়িৎ আকর্ষণ করে।** (৩) একটি তড়িতাহিত (charged) ও একটি অনাহিত (uncharged) দ্রব্যের মধ্যে আকর্ষণ হয়। (ক) ও (গ) পরীক্ষায় প্রথমে বল অনাহিত থাকে সেইজন্য কাচদণ্ড বা গালা ও বলের মধ্যে আকর্ষণ হয়। বল কাচদণ্ডকে বা গালাকে স্পর্শ করিলে বল সম তড়িতে আহিত হয়। সেইজন্য স্পর্শের পর উহাদের মধ্যে বিকর্ষণ হয়। রেশম ঘর্ষিত দুইখণ্ড কাচ কিংবা ফ্লানেল ঘর্ষিত দুইখণ্ড গালা কাছাকাছি বিলম্বিত করিলে পরস্পর হইতে দূরে যাইবে কিন্তু উপরোক্ত একখণ্ড কাচ ও একখণ্ড গালা কাছাকাছি বিলম্বিত করিলে পরস্পর আকর্ষণ করিবে।

দ্রষ্টব্য : জলীয় বাষ্প থাকিলে তড়িতের পরীক্ষা নষ্ট হয়। সেইজন্য তড়িতের পরীক্ষার সময় প্রত্যেক দ্রব্যকে (যথা ফ্লানেল, রেশম, কাচ) শুষ্ক করিয়া লইতে হয়।

✓৪। **ধনাত্মক ও ঋণাত্মক তড়িৎ :** তড়িতের প্রকৃতি ঘর্ষণকারী ও ঘর্ষিত দ্রব্যের প্রকৃতির উপর নির্ভর করে। নিম্নের তালিকায় যে কোন দুই দ্রব্যে ঘর্ষণ করিলে উপরের দ্রব্যে ধনাত্মক ও নিম্নের দ্রব্যে ঋণাত্মক তড়িৎ উৎপন্ন হয়। যথা :—

লোমযুক্ত চামড়া	চাঁচ গালা	রেশম	কাঠ	রবার
ফ্লানেল	কাচ	মানুষের দেহ	ধাতু	গন্ধক

✓৫। **তড়িতের মতবাদ** (Theories of Electricity) **:** (ক) **এক তরল** (One Fluid) **বাদ :** (খ) **দুই তরল বাদ :** এই দুইটি বাদ পুরাকালে প্রচলিত ছিল। তড়িৎ তরলের ন্যায় একস্থান হইতে অন্য স্থানে প্রবাহিত হয় সেইজন্য পুরাকালের বৈজ্ঞানিকগণ তড়িৎকে একপ্রকার তরল বলিয়া মনে করিতেন। এই দুই মতবাদ এখন পরিত্যক্ত হইয়াছে। (গ) আধুনিক **ইলেক্‌ট্রোনীয় বাদ** (Electronic Theory) **:** এই বাদ অনুসারে পরমাণুর নিম্নলিখিত উপাদান থাকে :—(১) **কেন্দ্রস্থল** (Core) **:** প্রত্যেক পরমাণুর কেন্দ্রে একটি ঘন ভর থাকে। ইহাকে **নিউক্লিয়াস** (Nucleus) বলে। নিউক্লিয়াস **প্রোটোন** (Proton) কণা ও **নিউট্রোন** (Neutron) কণা দিয়া গঠিত হয়। প্রত্যেক প্রোটোন কণায় একক **ধনাত্মক তড়িৎ** থাকে। নিউট্রোনে কোন তড়িৎ থাকে না। সুতরাং নিউক্লিয়াস মোটের উপর ধনাত্মক তড়িৎ বিশিষ্ট হয়।



২ নং চিত্র

(২) **বহিস্তর** (Shell) ও **ইলেক্‌ট্রোন** (Electron) **:** সূর্যের চারিপাশে নির্দিষ্ট কক্ষে যেমন গ্রহ ঘোরে নিউক্লিয়াসের চারিপাশে নির্দিষ্ট কক্ষে (orbit)

প্রচণ্ড গতিতে **ইলেক্‌ট্রোন** নামক কণা ঘুরিতেছে। প্রত্যেক ইলেক্‌ট্রোন বিভিন্ন বদ্ধ কক্ষে ঘোরে। প্রত্যেক ইলেক্‌ট্রোন কণা সমান **ঋণাত্মক** তড়িৎ সম্পন্ন হয়। ইহাই ক্ষুদ্রতম ঋণাত্মক তড়িৎ। হাইড্রোজেন সর্বাপেক্ষ হাল্‌কা পদার্থ কিন্তু প্রত্যেক ইলেক্‌ট্রোনের ভর = হাইড্রোজেন পরমাণুর ভরের $\frac{1}{1840}$ ভাগ। প্রত্যেক নিউক্লিয়াসের ভর = হাইড্রোজেনের ভর। সুতরাং নিউক্লিয়াসের ভরের তুলনায় ইলেক্‌ট্রোনের ভর নগণ্য। পৃথিবীর তুলনায় একখান জাহাজ যত টুকু পরমাণুর তুলনায় একটি ইলেক্‌ট্রোন তত টুকু। সুতরাং কার্যত পরমাণুর ভর = নিউক্লিয়াসের ভর এবং কার্যতঃ পরমাণুর ওজন $\propto$ নিউট্রো ও প্রোটনের মোট সংখ্যা।

(৩) পরমাণুতে প্রোটোনের ও ইলেক্‌ট্রোনের সংখ্যা সমান থাকে সুতরাং সাধারণ অবস্থায় প্রোটোনের মোট ধনাত্মক তড়িৎ = ইলেক্‌ট্রোনের মোট ঋণাত্মক তড়িৎ সুতরাং পরমাণু তড়িৎ-নিরপেক্ষ হয়।

(৪) পরমাণু নিরেট (compact) বস্তু নয়। নিউক্লিয়াস ও ইলেক্‌ট্রোন পরমাণুর খুব অল্প স্থান দখক করে, বাকী স্থান ফাঁপা।

(৫) কতকগুলি ভারী পদার্থ, যথা—রেডিয়াম, ইউরেনিয়াম খুব প্রচণ্ড বেগে (অনেক সময় সেকেণ্ডে ১৮৬০০০ মাইল) ইলেক্‌ট্রোন (α রশ্মি) ও প্রোটোন (β রশ্মি) ত্যাগ করে।

(৬) একটি মৌল অপর একটি মৌল হইতে প্রোটোনের ও ইলেক্‌ট্রোনের সংখ্যায় পৃথক হয়।

✓৬। **ইলেক্‌ট্রোন বাদ অনুসারে ব্যাখ্যা:** (১) ইলেক্‌ট্রোনগুলি (ঋণাত্মক তড়িৎ) নিউক্লিয়াসের (ধনাত্মক তড়িৎ) সহিত আকর্ষণ বল দ্বারা আকৃষ্ট থাকে কিন্তু ইলেক্‌ট্রোনগুলি বেগ সম্পন্ন হয় বলিয়া ইহারা অপকেন্দ্র বলের জন্য নিউক্লিয়াসের ঘাড়ে গিয়া পড়ে না। (২) সকলের বাহিরের কক্ষে যে ইলেক্‌ট্রোন থাকে তাহাদিগের উপর নিউক্লিয়াসের আকর্ষণ বল কম থাকে। সুতরাং নানারকম সহজ প্রক্রিয়ায় এক পরমাণু হইতে এই ইলেক্‌ট্রোনগুলি (ঋণাত্মক তড়িৎ) বিচ্ছিন্ন করিলে উক্ত পরমাণু যাহা পূর্বে তড়িৎ নিরপেক্ষ ছিল তাহাতে এখন ধনাত্মক তড়িৎ বেশী হওয়ায় **ধনাত্মক** তড়িৎ সম্পন্ন হয়।

যে পরমাণুতে ইলেক্ট্রোন যুক্ত হয় তাহা **ঋণাত্মক** তড়িৎ সম্পন্ন হয়। যখন কাচ ও রেশম ঘর্ষণ করা হয় তখন কাচ হইতে ইলেক্ট্রোন রেশমে যায় সুতরাং কাচ ধনাত্মক ও রেশম ঋণাত্মক তড়িৎ সম্পন্ন হয়। কাচের মুক্ত ইলেক্ট্রোনের সংখ্যা = রেশমে যুক্ত ইলেক্ট্রোনের সংখ্যা সুতরাং কাচের ধনাত্মক তড়িৎ = রেশমের ঋণাত্মক তড়িৎ।

৭। পরিবাহী (Conductor) ও অপরিবাহী অন্তরক (Insulator বা Non-Conductor): যে সকল পদার্থের কোন অংশে তড়িৎ স্পর্শ করাইলে সমস্ত পদার্থে তড়িৎ ছড়াইয়া পড়ে এবং পদার্থ সংলগ্ন অন্য পদার্থে যায় তাহাদিগকে **পরিবাহী** বলে; যথা ধাতু, মাটি, মনুষ্য-দেহ, কয়লা, গ্রাফাইট, জল, অম্ল, ধাতব লবণ। যে সকল পদার্থের এক অংশ হইতে অন্য অংশে কিংবা তৎসংলগ্ন অন্য পদার্থে তড়িৎ মোটেই প্রবাহিত হয় না তাহাদিগকে **অপরিবাহী** বলে; যথা কাচ, পশম, রেশম, তৈল, রবার, গন্ধক, মোম, গালা, পোর্সলেন, আবলুস। কতকগুলি পদার্থের মধ্য দিয়া আংশিকভাবে তড়িৎ প্রবাহিত হয়; যথা কাঠ, কাগজ, পাথর, তুলা, কোহল।

পরীক্ষা: হাতে করিয়া একটি পিতলের দণ্ডের সহিত চামড়া ঘর্ষণ কর। দণ্ড কাগজের টুক্‌রা আকর্ষণ করে না কিন্তু দণ্ডকে কাঠের হাতলের যুক্ত করিয়া হাতল ধরিয়া ঘর্ষণ করিলে দণ্ড কাগজের টুক্‌রা আকর্ষণ করে।

প্রথম বারে দণ্ডে উৎপন্ন তড়িৎ হাতের ও মাটির মধ্য দিয়া চলিয়া যায় কিন্তু দ্বিতীয় বারে কাঠের হাতলের মধ্য দিয়া যাইতে পাবে না।

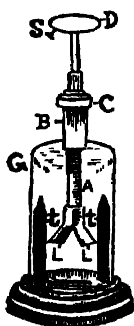
পৃথিবী একটি বিরাট পরিবাহী। কোন আহিত (charged) পদার্থকে তড়িৎ-মোক্ষণ (discharged) করিতে হইলে পৃথিবীর সঙ্গে ধাতব তার দিয়া যোগ করিতে হয়। জল তড়িৎ পরিবাহী বলিয়া তড়িৎ পরীক্ষায় প্রত্যেক যন্ত্র শুষ্ক করিয়া লইতে হয়। আর্দ্র বায়ুতে তড়িৎ-পরীক্ষা ভাল হয় না।

৮। তড়িৎবীক্ষণ (Electroscope): তড়িতের (১) অস্তিত্ব ও (২) প্রকৃতি নির্ণয়ের যন্ত্রকে **তড়িৎবীক্ষণ** বলে। ইহা দুই প্রকার, যথা:—

(ক) কর্ক-বল তড়িৎবীক্ষণ (Pith-ball Electroscope): এই যন্ত্রে একটি দণ্ড A হইতে কর্কের ছোট বল Bকে একটি সূক্ষ্ম অন্তরক রেশম

সূতা C দিয়া ঝুলান থাকে (১ নং চিত্র)। (১) অনাহিত বলের নিকট কোন পরীক্ষাধীন পদার্থ আনিলে যদি আকর্ষণ হয় এবং স্পর্শ করিলে বিকর্ষণ হয় তবে পদার্থ তড়িতাহিত আছে বোঝা যায়। (২) বলকে ধনাত্মক তড়িতে আহিত কর। পরীক্ষাধীন পদার্থ কাছে আন। আকর্ষণ হইলে পদার্থ অনাহিত বা ঋণাত্মক তড়িতে আহিত হইতে পারে। বিকর্ষণ হইলে পদার্থ ধনাত্মক তড়িতে আহিত বোঝা যায়।

(খ) স্বর্ণ-পত্র তড়িৎবীক্ষণ (Gold Leaf Electroscope): **যন্ত্র**—(i) একটি পিতলের দণ্ড Aর উপর প্রান্তে একটি পিতলের চাকতি বা বর্তুল (knob) D থাকে এবং নিম্ন প্রান্তে আটা দিয়া দুইটি পাতলা স্বর্ণপত্র (gold leaf) L L লাগান থাকে; (ii) একটি G কাচপাত্রের মুখে ইবোনাইট বা অন্য কোন অন্তরক দ্রব্য নির্মিত ছিপি C লাগান থাকে। (iii) A দণ্ডটি ছিপির মধ্য দিয়া অতিক্রম করান হয়। কাচপাত্র স্বর্ণপত্রকে বায়ুস্রোত হইতে রক্ষা করে। (iv) স্বর্ণপত্রের বিপরীত দিকে দুইটি টিন-পাত t t কাচপাত্রের ভিতর দিকের গায়ে লম্বভাবে লাগান থাকে। টিন-পাত স্বর্ণপত্রের তল হইতে পাত্রের ধাতব তলদেশের সহিত যুক্ত হয়। টিন-পাত যন্ত্রের সূক্ষ্মতা (delicacy) বৃদ্ধি করে। (v) পাত্রের ভিতরের বায়ুকে শুষ্ক রাখিবার জন্য পাত্রের ভিতরে ক্যাল্‌সিয়াম ক্লোরাইড বা H_2SO_4 সিক্ত ঝামাপাথর (pumice stone) থাকে। বায়ু আর্দ্র হইলে স্বর্ণপত্র হইতে আধান (charge) স্বতঃ নির্গত (leak) হইতে পারে। আধুনিক যন্ত্রে পাতলা পিতলের দণ্ডে একটিমাত্র স্বর্ণপত্র লাগান থাকে।



৩ নং চিত্র

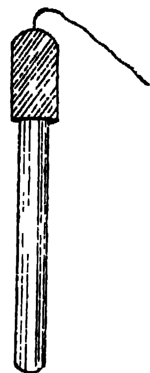
৯। তড়িৎবীক্ষণের পরিবহনে আহিতকরণ (charging by conduction):

যখন বর্তুল বা চাকতিতে কোন একপ্রকার তড়িতাহিত A পরিবাহী পদার্থ **স্পর্শ** করান যায় তখন চাকতি, দণ্ড ও স্বর্ণপত্র অংশতঃ সেই প্রকার তড়িতে আহিত হয় এবং স্বর্ণপত্রের আধান সমজাতীয় বলিয়া উহারা পরস্পর

বিকর্ষণ করিয়া দূরে সরিয়া যায়। যদি A পদার্থ ধনাত্মক তড়িতে আহিত হয় তবে বীক্ষণযন্ত্র ধনাত্মক তড়িতে আহিত হইবে। যদি A পদার্থ ঋণাত্মক তড়িতে আহিত হয় তবে বীক্ষণ যন্ত্র ঋণাত্মক তড়িতে আহিত হইবে।

১০। **স্বর্ণপত্র বীক্ষণের কার্য্য ঃ (ক) তড়িতের অস্তিত্ব নির্ণয় ঃ** কোন পদার্থকে অন্তরিত হাতলে ধরিয়া যন্ত্রের উপরিস্থিত চাকতিকে সম্পর্শ করাইলে বা চাকতির অতি নিকটে আনিলে স্বর্ণপত্র পরস্পর দূরে সরিয়া যায় তবে বুঝিতে হইবে পদার্থটি তড়িতাহিত। পদার্থটি সরাইলে স্বর্ণপত্র আবার গায়ে গায়ে লাগিয়া যায়। (খ) **আধানের প্রকৃতি নির্ণয় ঃ** (পরে দ্রষ্টব্য)

১১। **ঘর্ষণে বিপরীত ও সমান পরিমাণ তড়িতের উৎপত্তি ঃ পরীক্ষা ঃ** (i) একটি ফ্লানেলের টুপির মাথায় একটি দীর্ঘ রেশম সূতা বাঁধ। টুপিটি একটি ইবোনাইট দণ্ডের মাথায় কয়েকবার ঘুরাইয়া ঘর্ষণ কর। টুপিটি ধনাত্মক তড়িতে এবং দণ্ড ঋণাত্মক তড়িতে আহিত হইবে। (ii) একটি স্বর্ণপত্র তড়িৎ-বীক্ষণকে ৯ নং অনুচ্ছেদে বর্ণিত প্রক্রিয়া অনুসারে ধনাত্মক তড়িতে আহিত কর। এখন রেশম সূতা দিয়া ধরিয়া (রেশম সূতা অন্তরিত পদার্থ) টুপিকে বীক্ষণ যন্ত্রের কাছে লইয়া যাইলে স্বর্ণপত্রের বিস্ফারণ (divergence) বাড়িয়া যাইবে। ইহা হইতে প্রমাণ হয় যে টুপির তড়িৎ ধনাত্মক। (iii) দণ্ডকে ঐ বীক্ষণের নিকট লইয়া যাইলে বিস্ফারণ কমিয়া যায়। ইহা হইতে প্রমাণ হয় যে দণ্ডের তড়িৎ ঋণাত্মক। (iv) দণ্ড ও টুপি একত্রে বীক্ষণের কাছে লইয়া যাও। স্বর্ণপত্রের কোন বিস্ফারণ হয় না। ইহা হইতে প্রমাণ হয় যে ঘর্ষণে ধনাত্মক ও ঋণাত্মক তড়িৎ সম পরিমাণে উৎপন্ন হয়।

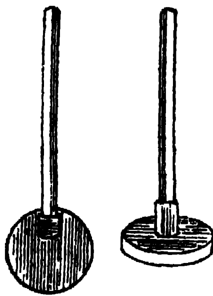

৪ নং চিত্র

১২। **বিকর্ষণ তড়িতাধানের নিশ্চিত পরীক্ষা ঃ** তড়িৎ উদাসীন (neutral) পদার্থকে তড়িতাহিত পদার্থের নিকট আনিলে কিংবা দুইটি বিপরীত জাতীয় তড়িতে আহিত পদার্থ পরস্পর নিকটে আনিলে উহাদের মধ্যে পরস্পর

আকর্ষণ দেখা যায়। সুতরাং একটি পদার্থ আরেকটি পদার্থের নিকটে আনিলে যদি আকর্ষণ হয়, তবে আমরা বলিতে পারি না কোনটি তড়িতাহিত। কিন্তু বিকর্ষণ সব সময়ই দুইটি সমজাতীয় তড়িতে আহিত পদার্থের মধ্যে দেখা যায়। সুতরাং যদি দুইটি পদার্থের মধ্যে বিকর্ষণ হয় তবে বুঝিতে হইবে দুইটি পদার্থই সমজাতীয় তড়িতে আহিত।

১৩। আধান পরীক্ষক (Proof-Plane) :—

এই যন্ত্র দিয়া কোন পদার্থ তড়িতাহিত কিনা তাহা জানা যায়। এই যন্ত্রে কাচ বা ইবোনাইট দণ্ডের মাথায় একটি ধাতব পাত থাকে। কোন তড়িতাহিত পদার্থকে এই যন্ত্র দ্বারা স্পর্শ করিলে ধাতব পাত তড়িতের কিয়দংশ গ্রহণ করে। যখন কোন পদার্থ বেশী তড়িতে আহিত হয় বা যখন কোন পদার্থকে তড়িৎবীক্ষণের কাছে লইয়া যাওয়া অসুবিধা হয় তখন এই যন্ত্র ব্যবহৃত হয়।



৫ নং চিত্র

১৪। তড়িৎ উৎপন্নের উপায় :

ঘর্ষণ ছাড়াও নিম্নলিখিত উপায়ে তড়িৎ উৎপন্ন হয় :—

(ক) চাপ—কর্ককে ধাতুর গায়ে চাপ দিলে কর্কে ধনাত্মক তড়িৎ উৎপন্ন হয়। এইরূপ অনেক পদার্থ চাপে তড়িৎ উৎপন্ন করে।

(খ) অভ্রকে হঠাৎ ভাঙ্গিয়া ফেলিলে তড়িৎ উৎপন্ন হয়।

(গ) একটি দ্রব্য ওপর একটি দ্রব্যের উপর প্রচণ্ডভাবে আঘাত করিলে তড়িৎ উৎপন্ন হয়।

(ঘ) যখন তরল পদার্থ বাষ্পীভূত হয় তখন তরল ও বাষ্প বিপরীত তড়িতে আহিত হয়।

(ঙ) বায়ুমণ্ডলে মেঘের ঘর্ষণে, বায়ুর ঘর্ষণে, উদ্ভিদের বৃদ্ধিতে, জলের বাষ্পীভবনে তড়িতের উৎপত্তি হয়।

(চ) দুইটি বিভিন্ন ধাতুর জোড়মুখে বিভিন্ন উষ্ণতা হইলে তড়িৎ উৎপন্ন হয়।

(ছ) কতকগুলি কেলাস যেমন কোয়ার্জ, কুইনিন সাল্‌ফেট শীতল বা উষ্ণ হইলে তড়িৎ উৎপন্ন করে।

(জ) চুম্বকের চারিধারে অন্তরিত তার ঘুরাইলে তারে তড়িৎ উৎপন্ন হয়।

প্রশ্ন

1. How would you prove that positive and negative electrifications are produced in equal quantities?

(C. U. '27, '35, '42, '44, Cf Pat. 1923, '32)

Explain clearly, with reasons, the names given to these by the ancients. Why have these names been changed into 'positive' and negative'? (Pat. U. 1932)

2. Describe the construction, and explain the use of a gold leaf electroscope.

(C. U. '16, '22, '-4, '27, '45 ; Dac. U. 1933)

3. What do you mean by the statement that a body is electrically charged? When you electrify a glass rod by rubbing it against flannel, what is the source from which electrical energy is obtained? (Pat 1929)

4. What is an electron? Explain with its help the phenomenon of electrification by friction or by induction. (C. U. 1932)

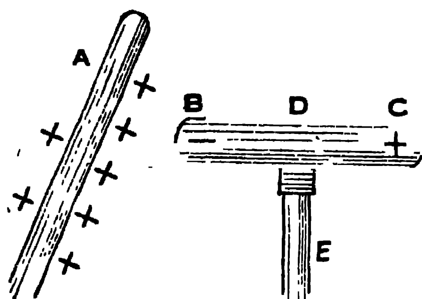
5. Describe the structure of atoms. Define electron, proton, nucleus and in this connection, state what is meant by conduction.

তড়িতাবেশ (Electrostatic Induction)

১৫। একটি আহিত পরিবাহী A কে অন্য অনাহিত অন্তরিত (uncharged insulated) পরিবাহী Bর **সংস্পর্শে** আনিলে আহিত A পরিবাহীর আধানের কতকাংশ অনাহিত B পরিবাহীতে গমন করে। এইরূপ Aর সংস্পর্শের জন্য Bতে উৎপন্ন আধানকে **পরিবাহিত আধান (charge by conduction)** বলে।

Aর সহিত Bর প্রকৃত সংস্পর্শ না ঘটাইয়াও Aকে B হইতে একটু দূরে রাখিলেও B আহিত হয়। A কে সরাইয়া লইলে B তে কোন তড়িতের চিহ্ন দেখা যায় না। এইরূপ দূর হইতে Aর আধানের **প্রভাবের জন্য** B তে উৎপন্ন আধানকে **আবিষ্ট আধান** (Induced charge) বলে। Aর আধানকে **আবেশকারী আধান** (Inducing charge) বলে। এই ঘটনাকে **তড়িতাবেশ** বলে।

১৬। **তড়িতাবেশের পরীক্ষা ঃ (ক) নিকট প্রান্তে বিপরীত আধান ঃ** একটি অন্তরিত চোঙাকৃতি **গোলপ্রান্ত** বিশিষ্ট পরিবাহী BC লও। একটি A কাচ দণ্ডকে রেশমের সঙ্গে ঘর্ষণ কর। ইহাকে BC পরিবাহীর B প্রান্তের নিকট লইয়া আন। কাচদণ্ডে + আধান উৎপন্ন হয়। B প্রান্তে একটি আধান-পরীক্ষক। (Proof plane) স্পর্শ করাও। এখন আধান-পরীক্ষক BC পরিবাহীর সঙ্গে একটি পরিবাহী হইয়া যায় এবং B প্রান্তের আধানের কিছু অংশ আধান-পরীক্ষকে পরিবাহিত হয়। আধান-পরীক্ষককে – আধান যুক্ত তড়িৎবীক্ষণের নিকট লইয়া যাও। স্বর্ণ-পত্রের বিস্ফারণ বাড়িয়া যায়। ইহা হইতে প্রমাণ হয় যে আধান-পরীক্ষকে তথা BC পরিবাহীর B প্রান্তে + আধানের উৎপত্তি হইয়াছে। অর্থাৎ BC পরিবাহীর **নিকট** প্রান্তে আহিত পদার্থের আধানের **বিপরীত জাতীয়** আধানের উৎপত্তি হয়।



৬ নং চিত্র

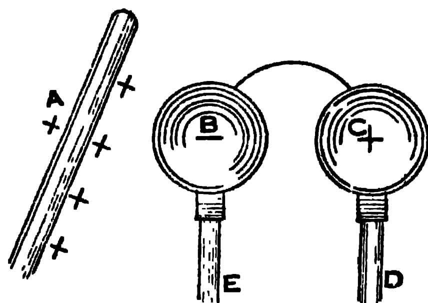
(খ) দূর প্রান্তে সম আধান ঃ আধান-পরীক্ষকের তড়িৎ মোক্ষণ করিয়া এবং A কে ঠিক পূর্ব অবস্থানে রাখিয়া C প্রান্তে আধান-পরীক্ষক দ্বারা স্পর্শ করাও। এই অবস্থায় আধান-পরীক্ষককে + আধান যুক্ত তড়িৎবীক্ষণের

নিকট লইয়া যাইলে স্বর্ণপত্রের বিস্ফারণ বাড়িয়া যায়। ইহা হইতে প্রমাণ হয় যে আধান-পরীক্ষককে তথা C প্রান্তে – আধানের উৎপত্তি হয় অর্থাৎ BC পরিবাহীর **দূর প্রান্তে** আহিত পদার্থের **সমজাতীয়** আধানের উৎপত্তি হয়।

(গ) মধ্যবিন্দু আধান শূন্য : (ক) BC পরিবাহীর মধ্য-বিন্দু D কে আধান-পরীক্ষক দ্বারা স্পর্শ করাও। অনাহিত তড়িৎবীক্ষণে স্বর্ণ-পত্রের কোন বিস্ফারণ হয় না। ইহা হইতে প্রমাণ হয় যে BC পরিবাহীর মধ্যস্থল D বিন্দুতে কোন আধান থাকে না। ইহা উদাসীন অঞ্চল।

(ঘ) দুই প্রান্তে সমান ও বিপরীত আধান : (১) A দণ্ডকে সরাইয়া লইলে B প্রান্তের + আধান ও C প্রান্তের – আধান সমস্ত পরিবাহীময় ছড়াইয়া পড়ে এবং পরস্পর প্রশমিত করে। সমস্ত পরিবাহী তড়িৎ-নিরপেক্ষ হয়। সুতরাং B ও C প্রান্তে আবিষ্ট আধান **পরিমাণে** সমান ও বিপরীত হয়।

(২) একটি পরিবাহীর পরিবর্তে দুইটি গোলীয় অন্তরিত পরিবাহী B ও C একটি তার দিয়া যোগ কর। B ও Cকে অন্তরিত হাতল E ও Dর উপর রাখ। + আধানযুক্ত A দণ্ডকে যুক্ত B ও Cর কাছে লইয়া যাও। Aকে পূর্ববৎ রাখিয়া B ও Cকে E ও D হাতল ধরিয়া পৃথক কর। Aকে সরাও। B ও C এর আধান আধান-পরীক্ষক দ্বারা পরীক্ষা করিলে দেখা যায় যে B এর আধান ঋণাত্মক ও C এর আধান ধনাত্মক। পুনরায় B ও Cকে যুক্ত করিলে ও তড়িৎবীক্ষণের কাছে লইয়া যাইলে স্বর্ণপত্রের কোন বিস্ফারণ হয় না। ইহা হইতে প্রমাণ হয় যে B এর – আধান = C এর + আধান।



৭ নং চিত্র

(ঙ) আবদ্ধ ও মুক্ত আধান : + আধানযুক্ত A দণ্ডকে যুগ্ম BC

গোলকের নিকট আন। BC কে হাত দিয়া স্পর্শ কর। প্রথমে হাত সরাও পরে B ও C কে পৃথক কর। তারপর A কে সরাও। B ও C কে পৃথক ভাবে পরীক্ষা কর। Cকে + আধান শূন্য এবং B কে – আধানযুক্ত দেখা যায় কিন্তু B তে পূর্বের চেয়ে বেশী আধান দেখা যায়। ইহা হইতে প্রমাণ হয় যে যতক্ষণ Aর প্রভাব থাকে ততক্ষণ B প্রান্তের—আধান আবদ্ধ থাকে অর্থাৎ ইহা অন্য কোন পরিবাহীতে গমন করে না। A কে সরাইয়া লইলে B প্রান্তের আধান পরিবাহীময় বিস্তৃত হইয়া পড়ে। B প্রান্তের আধানকে **আবদ্ধ** (Bound) **আধান** বলে। C প্রান্তের আধান পরিবাহীর মধ্য দিয়া (এখানে হাতের মধ্য দিয়া) মাটিতে চলিয়া যায়। ইহাকে **মুক্ত** (free) **আধান** বলে।

(চ) আবিষ্ট আধান ও দূরত্ব ব্যস্তানুপাতিক হয়ঃ যুক্ত BCকে তার দিয়া অনাহিত তড়িৎবীক্ষণের সঙ্গে যোগ কর। A কে দূর হইতে যত কাছে আনা যায় স্বর্ণপত্রের বিস্ফারণ তত বাড়িয়া যায়। অর্থাৎ আবিষ্ট আধান তত বাড়ে

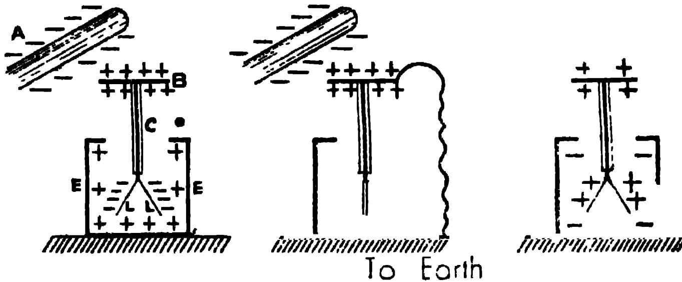
১৮। **ইলেক্‌ট্রোনবাদ অনুসারে আবেশের ব্যাখ্যাঃ** পরিবাহীতে কতকগুলি অপসরণযোগ্য মুক্ত ইলেক্‌ট্রোন থাকে। ইহাদিগকে Valence ইলেক্‌ট্রোন বলে। ইলেক্‌ট্রোনে—আধান থাকে সুতরাং + আধানে আহিত পরিবাহীতে কম এবং – আধানে আহিত পরিবাহীতে বেশী ইলেক্‌ট্রোন থাকে। + আধানযুক্ত পরিবাহী Aকে BC অনাহিত পরিবাহীর নিকটে আনিলে BCর মুক্ত ইলেক্‌ট্রোন অর্থাৎ – আধানযুক্ত কণা আকর্ষণ-বিকর্ষণের নিয়মানুসারে আকৃষ্ট হয়। সুতরাং BCর নিকট B প্রান্তে বেশী ইলেক্‌ট্রোন সরিয়া আসে এবং B প্রান্ত – আধানযুক্ত হয়। দূর C প্রান্তে ইলেক্‌ট্রোনের সংখ্যা কমিয়া যায় কারণ BCতে মোট ইলেক্‌ট্রোনের সংখ্যা এক থাকে সুতরাং C প্রান্ত + আধানযুক্ত হয়। C প্রান্ত মাটির সংঙ্গে সংযুক্ত হইলে মাটি হইতে আরও ইলেক্‌ট্রোন আসিয়া C প্রান্তের ইলেক্‌ট্রোনের ঘাটতি পূরণ করে। ইহাতে C প্রান্ত – আধানযুক্ত হয়।

১৯। **আকর্ষণের পূর্বে আবেশ হয়ঃ** আহিত পদার্থ অনাহিত

পদার্থকে কেন আকর্ষণ করে ? আবেশের সময় BC অনাহিত পরিবাহীর নিকট B প্রান্তে আহিত পদার্থ Aর আধানের বিপরীত আধান এবং দূর C প্রান্তে Aর আধানের সম আধান উৎপন্ন হয়। সুতরাং Aর আধান ও B প্রান্তের বিপরীত আধানের মধ্যে আকর্ষণ এবং Aর আধানের ও C প্রান্তের সম আধানের মধ্যে বিকর্ষণ হয়। সুতরাং মোটফল এই দাঁড়ায় যে A দ্বারা BC আকৃষ্ট হয়। অতএব একটি আহিত ও অনাহিত পদার্থের মধ্যে প্রথমে আবেশ হয় তারপরে আকর্ষণ হয়।

২০। আবেশের দ্বারা তড়িৎ-বীক্ষণের আহিত করণ (Charging a gold-leaf electroscope by induction): ইহা তিনটি ধাপে সম্পন্ন হয়।

(১) **+ আধানে আহিত করণ :** (ক) একটি − আধানযুক্ত A পরিবাহীকে অনাহিত তড়িৎ-বীক্ষণের চাকতি Bর নিকট আন। Aর আধানের আবেশের জন্য চাকতিতে আবদ্ধ + আধানের এবং C দণ্ডে ও L স্বর্ণপত্রে মুক্ত সমপরিমাণ − আধানের উৎপত্তি হয়। স্বর্ণপত্র − আধানে বিস্ফারিত হয়। (খ) A কে এক স্থানে রাখিয়া B চাকতিকে হাত দিয়া স্পর্শ কর। স্বর্ণপত্রের



৮ নং চিত্র

মুক্ত আবিষ্ট আধান দেহের মধ্য দিয়া মাটিতে চলিয়া যায় এবং স্বর্ণপত্র পুনরায় নিমীলিত (collapse) হয় কিন্তু A পদার্থের − আধান দ্বারা আবিষ্ট + আধান আকৃষ্ট হইয়া চাকতিতে আবদ্ধ থাকে। (গ) প্রথমে হাত সরাইয়া লও। তৎপরে A কে সরাইয়া লও। এখন আবদ্ধ + আধান Aর প্রভাব মুক্ত হইয়া

চাকতি, দণ্ড ও স্বর্ণপত্রময় ছড়াইয়া পড়ে এবং স্বর্ণপত্র+আধানের জন্য বিস্ফারিত হয়। এই উপায়ে তড়িৎবীক্ষণ +আধানে আহিত হয়। E টিনপাতে – আধান আবিষ্ট হয়।

(২) **—আধানে আহিত করণ** : (ক) তড়িৎ-বীক্ষণের চাকতির নিকট +আধানযুক্ত A পদার্থ লইয়া আন। Aর আধানের আবেশের জন্য চাকতিতে আবদ্ধ–আধান এবং দণ্ডে ও স্বর্ণপত্রে সমপরিমাণ মুক্ত+আধান উৎপন্ন হয়। (খ) A কে এক স্থানে রাখিয়া চাকতিকে হাত দিয়া স্পর্শ কর। মুক্ত+ আধান মাটিতে চলিয়া যায় এবং স্বর্ণপত্র পুনরায় নিমীলিত হয়। (আধুনিক মতে কতকগুলি ইলেক্‌ট্রোন চাক্‌তিতে চলিয়া আসে, স্বর্ণপত্রে ইলেক্‌ট্রোনের ঘাটতি হয় অর্থাৎ + আধান যুক্ত হয়। চাকতি স্পর্শ করিলে মাটি হইতে ইলেক্‌ট্রোন স্বর্ণপত্রে চলিয়া যায় সুতরাং স্বর্ণপত্র–আধানে আহিত হয়) (গ) প্রথমে হাত তৎপরে A পদার্থ সরাইয়া লও। মুক্ত – আধান চাকতি, দণ্ড ও স্বর্ণপত্রে ছড়াইয়া পাড। এই উপায়ে তড়িৎ-বীক্ষণ – আধানে আহিত হয়।

দ্রষ্টব্য : (ক) টিনপাতের উপকারিতা : স্বর্ণপত্রের আধানের আবেশের জন্য টিনপাতের ভিতর দিকে বিপরীত আধানের উৎপত্তি হয় সুতরাং টিনের পাত ও স্বর্ণপত্রের মধ্যে আকর্ষণের জন্য স্বর্ণপত্রের বিস্ফারণ বাড়িয়া যায়। (খ) হাত দিয়া চাকতি স্পর্শ করিবার পর স্বর্ণপত্রে যে আধান থাকে তাহার বিপরীত আধান টিনপাতে আবিষ্ট হয়। (গ) চাকতিতে আবিষ্ট আধানের পরিমাণ-আবেশকারী পদার্থের ও তড়িৎ-বীক্ষণের আকৃতি, আবেশকারী আধানের পরিমাণ ও উহাদের মধ্যে দূরত্বের উপর নির্ভর করে। যদি দূরত্ব কম হয় তবে তড়িৎ-বীক্ষণে আবিষ্ট আধান বেশী হয়। (ঘ) একটি আবেশকারী আধান অনেকগুলি আবিষ্ট আধান সৃষ্টি করিতে পারে। (ঙ) শক্তিশালী আধানযুক্ত পদার্থ তড়িৎ-বীক্ষণের নিকট আনা উচিৎ নয়। ইহাতে স্বর্ণপত্রের বিকর্ষণ এত বেশী হইতে পারে যে স্বর্ণপত্র ছিঁড়িয়া যাইতে পারে। (চ) ঘর্ষণে উৎপন্ন তড়িতের প্রকৃতি নির্ভর করে ঘর্ষিত পদার্থের প্রকৃতির উপর। পরিবহনে একই জাতীয় তড়িৎ পরিবাহিত হয়, আবেশে বিভিন্ন জাতীয় তড়িৎ উৎপন্ন হয়।

২১। চৌম্বক ও তড়িৎ আবেশের পার্থক্য :—(ক) দুই চুম্বক সংস্পর্শে থাকিলেও চৌম্বক আবেশ হয় কিন্তু অনাহিত ও আহিত পদার্থ সংস্পর্শে থাকিলে তড়িৎ আবেশ হয় না। (খ) চৌম্বক আবেশ চৌম্বক পদার্থেই সীমাবদ্ধ থাকে কিন্তু তড়িৎ আবেশ যে কোন অনাহিত পরিবাহীতে উৎপন্ন হয়। (গ) চুম্বকের চারিপাশের চৌম্বক ক্ষেত্রে আবেশ সৃষ্ট হয় এবং তড়িতাহিত পদার্থের চারিপাশে তড়িৎ ক্ষেত্রে আবেশ সৃষ্ট হয়। (ঘ) চৌম্বক আবেশে নিকট প্রান্তে বিপরীত মেরু ও দূর প্রান্তে সমমেরু উৎপন্ন হয়। তড়িৎ আবেশেও নিকট প্রান্তে বিপরীত আধান ও দূর প্রান্তে সম আধান উৎপন্ন হয়। (ঙ) চৌম্বক আবেশে আবিষ্ট লৌহখণ্ডকে ভাঙিয়া আবিষ্ট মেরুপৃথক করা যায় না কিন্তু তড়িতাহিত পরিবাহীকে ভাঙ্গিলে আবিষ্ট আধানকে পৃথক করা যায়।

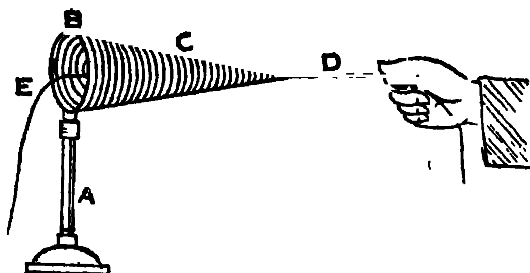
২২। আধানের অবস্থান (Seat of a charge) : (ক) **অপরিবাহী** বা **অন্তরকের** যে কোন অংশে আধান প্রদান করিলে আধান সেই অংশেই আবদ্ধ থাকে। (খ) অন্তরিত **পরিবাহীর** যে কোন অংশে আধান প্রদান করিলে পরস্পর বিকর্ষণের জন্য আধান পরিবাহীর সকল অংশে ছড়াইয়া পড়ে। এখন প্রশ্ন এই যে আধান পরিবাহীর উপাদানের মধ্যে থাকে, না বাহিরে থাকে, না ভিতর-বাহির সর্বত্র থাকে ?

আধান পরিবাহীর কেবল বাহির পৃষ্ঠায় থাকে, ভিতর পৃষ্ঠায় কোন আধান থাকে না।

নিম্নলিখিত পরীক্ষাগুলি এই নিয়ম প্রমাণ করে :—

(ক) **ফ্যারাডের Butterfly জাল পরীক্ষা** : একটি অন্তরিত হাতল A-র উপর স্থাপিত একটি B তারের আংটায় একটি শঙ্কু আকৃতির মসলিনের জাল C বাধা আছে। জালের শীর্ষে বাঁধা দুইটি রেশম সূতা D ও E দিয়া টানিয়া জালের একই পিঠ ভিতর-বাহির করা যায়। জালকে তড়িতাহিত কর। আধান-পরীক্ষক দ্বারা জালের বহির্ভাগ স্পর্শ করিয়া তড়িৎ-বীক্ষণের নিকট লইয়া যাও। স্বর্ণপত্র বিস্ফারিত হয়। জালের ভিতর ঐরূপ স্পর্শ করিয়া তড়িৎ-বীক্ষণের নিকট লইয়া যাইলে স্বর্ণ-পত্র বিস্ফারিত হয় না। জালকে সূতা ধরিয়া ভিতর-বাহির উল্টাইয়া দাও। পূর্বেকার

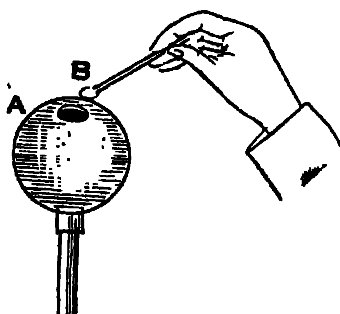
ভিতর পিঠ এবার বাহির পিঠ হইল। এবার উপরোক্ত উপায়ে বাহির পিঠ



৯ নং চিত্র

ও ভিতর পিঠ পরীক্ষা করিলে দেখিবে যে বাহির পিঠে আধান থাকে, ভিতর পিঠে আধান থাকে না।

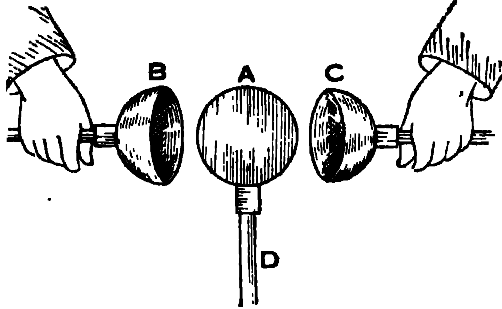
(খ) **ফাঁপা পরিবাহী:** (১) একটি অন্তরিত হাতলের উপর স্থাপিত ফাঁপা A পরিবাহীর উপর দিকে একটি বড় ছিদ্র B আছে। তামার তারের এক প্রান্ত তড়িৎ যন্ত্রের সহিত যুক্ত কর এবং অপর প্রান্ত B ছিদ্রের মধ্য দিয়া পরিবাহীর ভিতরে নামাইয়া দিয়া ভিতর পিঠ স্পর্শ করাও। যন্ত্রকে চালিত করিয়া ভিতর পিঠ আহিত কর। যন্ত্রের সংযোগ বিচ্ছিন্ন কর। আধান-পরীক্ষক দ্বারা ভিতর ও বাহির পিঠ পৃথকভাবে স্পর্শ করিয়া তড়িৎ-বীক্ষণে পরীক্ষা করিয়া দেখিলে ভিতব পিঠে কোন আধানের চিহ্ন পাওয়া যায় না। কিন্তু বাহির পিঠে আধানের চিহ্ন পাওয়া যায় যদিও প্রথমে ভিতর পিঠে আধান দেওয়া হয়।



১০ নং চিত্র

(গ) **Biot পরীক্ষা:** একটি ফাঁপা ধাতব গোলক A একটি অন্তরিত D হাতলে বসান থাকে। দুইটি ফাঁপা অর্ধগোলক B ও C দুইটি অন্তরিত হাতলে লাগান থাকে। এই দুই অর্ধগোলক Aর ঠিক গায়ে গায়ে লাগিয়া যায়।

A গোলককে যন্ত্র হইতে আহিত কর। A গোলকের উপর তল আধান-পরীক্ষক ও তড়িৎ-বীক্ষণ দ্বারা পরীক্ষা করিলে স্বর্ণপত্রের বিস্ফারণ



১১ নং চিত্র

দেখা যায়। এবার দুই অর্ধগোলক দিয়া A কে এক সঙ্গে জোরে চাপা দিয়া সরাইয়া লও। A গোলকের সমস্ত আধান B ও C অর্ধগোলকের উপর পিঠে চলিয়া যায়। A গোলক মোক্ষিত হয়।

দ্রষ্টব্য ঃ ফাঁপা বা নিরেট পরিবাহীর ভিতরে কোন আধান থাকে না কিন্তু ফাঁপা পরিবাহীর ভিতর আহিত পদার্থ থাকিলে এই নিয়ম খাটে না। আবেশের নিয়মানুসারে ফাঁপা পরিবাহীর ভিতর পিঠে বিসম আধান ও বাহির পিঠে সম আধান উৎপন্ন হয়।

২৩। এক পরিবাহী হইতে অন্য অন্তরিত পরিবাহীতে আধান স্থানান্তর ঃ যদি একটি ফাঁপা বড় অন্তরিত পরিবাহীর মধ্যে একটি আহিত ধাতব বলকে নামাইয়া **ভিতর পিঠ** স্পর্শ করান যায় তবে বল হইতে সমস্ত আধান ফাঁপা পরিবাহীর **বাহির পিঠে** চলিয়া যাইবে, বলটি আধানশূন্য হইবে। যদি বলকে পরিবাহীর বাহির পিঠ স্পর্শ করান যায় তবে আধান বল ও পরিবাহীর মধ্যে ভাগ হইয়া যায়। বল একবারে আধানশূন্য হয় না।

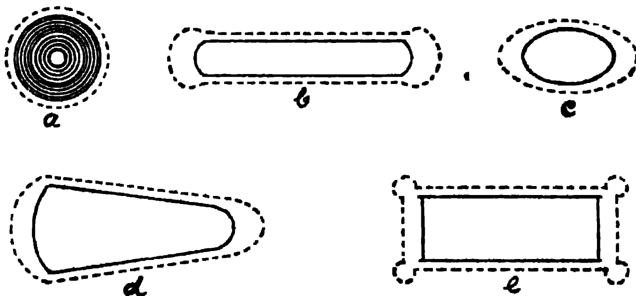
২৪। পরিবাহীর উপর আধানের বিস্তৃতি (Distribution of charge) ; **আধানের পৃষ্ঠঘনাঙ্ক** (Surface density of charge) :— পরিবাহীর উপর পিঠে যদিও আধান সর্বত্র ছড়াইয়া পড়ে কিন্তু ইহা সর্বত্র

সমভাবে ছড়াইয়া পড়ে না। পরিবাহীর আকারের উপর আধানের বিস্তৃতি নির্ভর করে। পরিবাহীর এক মাত্রা তলের (unit area) উপরিস্থিত আধানকে **পৃষ্ঠঘনাঙ্ক** বলে। পরিবাহীর যে কোন বিন্দুর চারিপাশে একমাত্রা ক্ষেত্রফলের আধানের পরিমাণ দিয়া পৃষ্ঠঘনাঙ্ক মাপা হয়। পৃষ্ঠঘনাঙ্ক (ক) পরিবাহীর আকৃতির ও (খ) অন্য পরিবাহী বা অন্তরকের উপস্থিতির উপর নির্ভর করে যথা:—

(ক) **পরিবাহীর আকৃতি**:—গোলাকার পরিবাহীর সকল বিন্দুতে পৃষ্ঠ-ঘনাঙ্ক সমান হয়।

পরীক্ষা: একটি গোলাকার পরিবাহীকে একটি যন্ত্র দিয়া আহিত কর। আধান-পরীক্ষক দিয়া পরিবাহীর সকল বিন্দু পর পর স্পর্শ কর ও অনাহিত তড়িৎ-বীক্ষণের কাছে লইয়া যাও। আধান-পরীক্ষক আধানের ঘনাঙ্ক অনুযায়ী আধান সংগ্রহ করে। স্বর্ণপত্রের বিস্ফারণ সকল ক্ষেত্রেই সমান হয়। সুতরাং পৃষ্ঠ-ঘনাঙ্ক পরিবাহীর সর্ব বিন্দুতেই সমান।

মনে কর Q = আধানের পরিমাণ, r = গোলকের ব্যাসার্ধ ∴ পৃষ্ঠঘনাঙ্ক $\rho' = \frac{Q}{4\pi r^2}$, কারণ পরিবাহীর পৃষ্ঠতল $= 4\pi r^2$. পরিবাহীর যে বিন্দুতে বক্রতা যত বেশী হইবে তাহার পৃষ্ঠ-ঘনাঙ্ক তত বেশী হইবে অর্থাৎ সেই বিন্দুতে

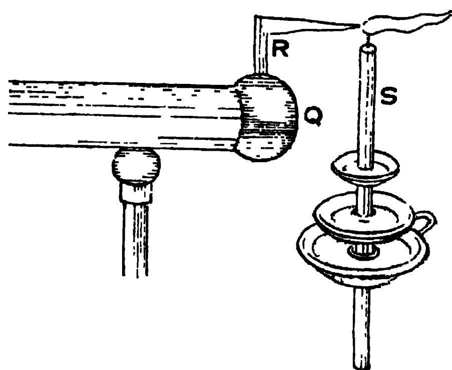


১২ নং চিত্র

তত বেশী তড়িৎ কেন্দ্রীভূত হইবে। ১২ নং চিত্রে বিচ্ছিন্ন (dotted) ও নিরবচ্ছিন্ন (continuous) রেখাদ্বয়ের মধ্যবর্তি জায়গার পরিমাণ দ্বারা বিভিন্ন আকৃতির পরিবাহীর উপরপিঠে আধানের ঘনাঙ্ক দেখান হইল।

(খ) অন্য অন্তরিত পরিবাহীর উপস্থিতিঃ (ক) A অন্তরকের নিকটবর্তি B আহিত পরিবাহীর M অংশে তড়িৎ বেশী পরিমাণে জমা হয়। A অন্তরকের পরিবর্তে অন্য অনাহিত পরিবাহী C রাখিলে মূল B পরিবাহীর সেই M অংশে আরও অধিক তড়িৎ জমা হয়। ইহার কারণ আবেশের জন্য C পরিবাহীতে ঠিক B পরিবাহীর সম্মুখে অসম তড়িতের উৎপত্তি হয়। অসম তড়িতের মধ্যে আকর্ষণের জন্য B পরিবাহীর M অংশে আরও তড়িৎ জমা হয়। C পরিবাহীকে মাটির সঙ্গে সংযোগ করিলে মুক্ত আধান মাটিতে চলিয়া যায় কেবল বদ্ধ আধানই পরিবাহীতে থাকিয়া যায়। সেইজন্য B পরিবাহীতে C পরিবাহীর সম্মুখীন M অংশে পৃষ্ঠঘনাঙ্ক বাড়িয়া যায়।

২৫। পরিবাহীতে তীক্ষ্ণাগ্র বিন্দুর প্রভাবঃ পরিবাহীর তীক্ষ্ণাগ্র বিন্দুতে পৃষ্ঠঘনাঙ্ক সকলের চেয়ে বেশী হয় কারণ এই সকল বিন্দুতে পরিবাহীর বক্রতা সর্বাপেক্ষা বেশী সুতরাং সেই সকল বিন্দুতে তড়িতাধানও অপেক্ষাকৃত বেশী হয়। এই সকল বিন্দুতে সমজাতীয় আধানের মধ্যে প্রবল বিকর্ষণ দেখা দেয়। ইহার ফলে পার্শ্ববর্তী বায়ু মাধ্যমে কিছু তড়িৎ মোক্ষিত হয় এবং বায়ু ও ধূলিকণা তড়িতাহিত হয় এবং উহাদের মধ্যে বিকর্ষণ দেখা দেয়। বায়ুকণাগুলি দূরে চলিয়া যায়। পুনরায় নূতন অনাহিত বায়ু সেখানে আসিয়া আহিত হয় ও বিকৃষ্ট হইয়া চলিয়া যায়। এইরূপে প্রত্যেক তীক্ষ্ণাগ্র বিন্দুর পাশ দিয়া তড়িতাহিত বায়ু কণার স্রোত বহে। এইরূপে পরিবাহী শীঘ্রই তড়িৎমুক্ত (discharged) হয়। এই তড়িতাহিত বায়ু-স্রোতকে **তড়িৎ ব্যাত্যা বা প্রবাহ** (Electric wind) বলে। সুতরাং কোন

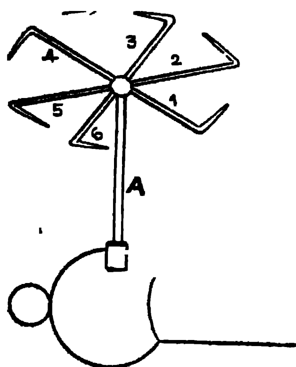


১৩ নং চিত্র

পরিবাহীতে অধিকক্ষণ তড়িতাধান রাখিতে হইলে তাহাকে গোলাকার মসৃণ ও তীক্ষ্ণাগ্র বিন্দুশূন্য করিতে হয়।

পরীক্ষা : (ক) একটি সূক্ষ্মাগ্র ধাতব দণ্ড R কে সমকোণে বাঁকাইয়া কোন তড়িৎ যন্ত্রের মূল পরিবাহী (Prime conductor) Q এর উপর রাখ। দণ্ডের সূক্ষ্মাগ্র ভাগের সম্মুখে একটি বাতির শিখা S ধর। তড়িৎ যন্ত্রকে চালিত কর। সূক্ষ্মাগ্র ভাগ হইতে আহিত বায়ুকণার নিরবিচ্ছন্ন স্রোত প্রবাহিত হইবে। এই বায়ুর স্রোতে বাতির শিখা বাঁকিয়া যাইবে।

(খ) **তড়িৎচক্র :** (Electric whirl) : তড়িৎ যন্ত্রের মূল পরিবাহীতে একটি ধাতব শলাকা A র মাথায় ছয়টি হাল্‌কা দণ্ড (1, 2, 3···) জোড়া আছে। প্রত্যেক দণ্ডের অগ্রভাগ সূচাল ও একই দিকে বাঁকান আছে। তড়িৎ যন্ত্র চালিত কর। তড়িৎ সূচাল বিন্দু দিয়া মোক্ষিত হয় এবং বায়ুস্রোতের প্রতিক্রিয়ায় (reaction) চক্র বিপরীত দিকে ঘোরে।



১৪ নং চিত্র

দ্রষ্টব্য : চুম্বকের আকৃতি ও চুম্বকত্ব বিস্তৃতির সঙ্গে সম্পর্ক নাই।

২৬। **কতকগুলি প্রশ্নের সমাধান** (১) : **প্রশ্ন :** একটি অন্তরিত অনাহিত ফাঁপা পরিবাহীকে তড়িৎ-বীক্ষণের সঙ্গে যোগ করিলে নিম্নলিখিত অবস্থায় কি হয় বল :—(ক) রেশম সূতা দিয়া ধরিয়া একটি + আধানযুক্ত ধাতব বলকে ফাঁপা পরিবাহীর মধ্যে নামাইলে ; (খ) বলকে পরিবাহী না স্পর্শ করাইয়া পরিবাহীর অভ্যন্তরে ঘুরাইলে ; (গ) পরিবাহীর ভিতর পৃষ্ঠা স্পর্শ করাইলে ; (ঘ) ও (ঙ) : (খ) ও (গ) পরীক্ষার পর বলকে তুলিয়া লইলে।

(C. U. 1940)

উত্তর : (ক) বলের আবেশের জন্য ফাঁপা পরিবাহীর ভিতর পৃষ্ঠায় আবদ্ধ – আধান ও বাহির পৃষ্ঠায় মুক্ত + আধান উৎপন্ন হয়। মুক্ত + আধান স্বর্ণপত্রে

ছড়াইয়া পড়ে এবং স্বর্ণপত্র বিস্ফারিত হয়। বলকে যতই পরিবাহীর ভিতর নামান যায় ততই আবেশের পরিমাণ নির্দিষ্ট সীমা পর্য্যন্ত বাড়ে এবং স্বর্ণপত্রের বিস্ফারণও নির্দিষ্ট সীমা পর্যন্ত বাড়ে। (খ) স্বর্ণপত্রের বিস্ফারণের কোন তারতম্য হয় না। (গ) আবদ্ধ আধান বাহিরের + আধানকে অর্ধেকটা প্রশমিত করে। বাকী অর্ধেক আধান পূর্ববৎ ছড়াইয়া পড়ে এবং স্বর্ণপত্র—আধানে বিস্ফারিত হয়। (ঘ) আর আবেশ হয় না, বিপরীত তড়িৎ প্রশমিত হয় এবং স্বর্ণপত্র নিমীলিত হয়। (ঙ) বলের তড়িৎ মোক্ষণ হয় কিন্তু স্বর্ণপত্র পূর্ববৎ বিস্ফারিত থাকে।

(২) **প্রশ্ন :** দুইটি একই প্রকার তড়িৎ-বীক্ষণ যন্ত্রের চাকতির উপর দুইটি একই প্রকার ফাঁপা গভীর ধাতব পাত্র রাখা হয়। দুইটি চাকতি সরু তার দিয়া যোগ করা হয়। নিম্নলিখিত অবস্থায় কি ফল হয় বল : (ক) একটি + আধানযুক্ত বল একটি পাত্রের ভিতর স্পর্শ না করিয়া নামান হয়। (খ) রেশম সূতা দিয়া তার সরান হয়। (C. U. 1918)

উত্তর : (ক) আবেশ সৃষ্টির সঙ্গে সঙ্গে স্বর্ণপত্রের বিস্ফারণ বাড়িতে বাড়িতে নির্দিষ্ট সীমায় পৌছায়। (খ) স্বর্ণপত্রের বিস্ফারণের কোন পরিবর্তন হয় না। (গ) স্বর্ণপত্র বিস্ফারিত থাকে।

(৩) **প্রশ্ন :** অনাহিত অন্তরিত পদার্থ A ও —আধানযুক্ত পদার্থ B তোমাকে দেওয়া হইল। B দ্বারা A কে কি প্রকারে (*a*) + আধানযুক্ত ও (*b*) —আধানযুক্ত করিবে।

উত্তর : (ক) Bকে Aর কাছে আন। Aর নিকট প্রান্তে আবদ্ধ + আধান ও দূর প্রান্তে মুক্ত—আধান উৎপন্ন হয়। Aকে স্পর্শ কর। মুক্ত – আধান মাটিতে চলিয়া যায়। Bকে সরাইলে Aর সমস্তটা + আধান যুক্ত হয়। (খ) (i) Bকে A দিয়া স্পর্শ করিলে B হইতে আধান Aতে পরিবাহিত হয়। A—আধানযুক্ত হয়। (ii) Aর সংস্পর্শে একটি অন্তরিত পরিবাহী C রাখ, Bকে C এর নিকট আন। Cতে আবদ্ধ + আধান ও A তে মুক্ত – আধান আবিষ্ট হয়। B কে ঠিক স্থানে রাখিয়া A কে অন্তরিত হাতল ধরিয়া সরাও। A —আধানযুক্ত হয়।

প্রশ্ন

1. Explain the meaning of the expression "electrification by induction". (C. U. 1920, '42, '44. Pat. 1918', 47)

2. What experiments will you do to show that electricities generated by electrostatic induction are equal but of opposite kinds. Compare this induction with magnetic induction and explain fully how you can protect an apparatus from the effect of induction in each case. (Pat 1928 ; cf. C. U. '42)

3. Describe an experiment to show that when an insulated conductor is electrified by induction two opposite charges are induced on it, that which is farther from the inducing charge being of the same kind. Under what circumstances is it possible to transfer the whole of the charge to another insulated conductor ? (C. U. 1930)

4. A bar magnet is divided in the middle and the parts are separated. An insulated conductor (cylindrical with the ends rounded off) is placed in front of the electrified ball with its axis passing through the centre of the ball ; and while in the presence of the ball, the cylinder is divided in the middle, and the farther half is removed to a great distance ; contrast and explain the state of affairs in the two cases. (C. U. 1911 ; cf Pat 1923)

5. Using an ebonite rod and flannel how would you charge a gold-leaf electroscope (a) negatively (b) positively ? (C.U. 1935)

6. Describe a gold-leaf electroscope. Given an uncharged body A on an insulating stand and a body B charged negatively ; how by means of B can you give A (a) a positive, (b) a negative charge ?

7. On an insulating stand is placed a metal can the outside of which is connected to a gold-leaf electroscope. A charged metal ball hung by a silk thread is gradually lowered into it till it touches the bottom. Describe and explain the effects produced. (Pat. U. 1921. 23 ; C. U. 1914 17)

8. What is meant by "the surface density at the point" ?

How does it depend on the shape of the conductor (Pat 1947) ?

One pole of a battery of many cells is earthed. Two insulated metal balls of 1 cm. and 5 cms. diameter respectively, are put one after the other in contact with the other pole of the battery. Compare the surface densities of charge on the two balls.

(Pat. 1947)

তড়িৎ ক্ষেত্র (Electric Field) ও তড়িৎ বিভব (Electric Potential)

২৭। **তড়িৎ বলের নিয়ম** (Laws of Electric Force) : সম আধান বিকর্ষণ করে ও বিপরীত আধান আকর্ষণ করে। এই আকর্ষণ বা বিকর্ষণ বল দুইটি আধানের পরিমাণ ও উহাদের দূরত্বের উপর নির্ভর করে কিন্তু বিভিন্ন আকৃতির দুইটি আহিত পদার্থের সকল অংশের দূরত্ব সমান নহে। যদি দূরত্বের তুলনায় পদার্থগুলির আকৃতি ক্ষুদ্র হয় তবে আমরা উহাদিগকে বিন্দু-আধান (Point charges) বলিয়া গণ্য করিতে পারি।

২৮। **কুলম্বের নিয়ম (Coulomb's Law)** : দুইটি বিন্দু আধানের মধ্যে আকর্ষণ বা বিকর্ষণ বল আধানের গুণফলের সমানুপাতে এবং উহাদের দূরত্বের বর্গের ব্যস্তানুপাতে পরিবর্তিত হয়। যদি বিন্দু-আধানের পরিমাণ যথাক্রমে q ও q' হয়, দুই আধানের দূরত্ব d হয় এবং আকর্ষণ বা বিকর্ষণ বল F হয় তবে

$F \propto \frac{qq'}{d^2}$ or $F = C.\frac{qq'}{d^2}$. C = ধ্রুবক, এই ধ্রুবক C মাপের একক ও মাধ্যমের প্রকৃতির উপর নির্ভর করে। শেষোক্ত নিয়মকে **ব্যস্তানুপাতিক বর্গ সূত্র** (Law of Inverse Squares) বলে।

কুলম্ব ব্যবর্ত তুলা (torsion balance) দিয়া এই নিয়মের সত্যতা মোটামুটি নির্ণয় করেন কিন্তু এই পদ্ধতি ত্রুটিপূর্ণ। এই নিয়মের সত্যতা হইতে উদ্ভূত সিদ্ধান্তগুলি পরীক্ষালব্ধ গণনার সহিত মিলিয়া যায়।

২৯। **একমাত্রা আধান** (Unit charge)ঃ সমপরিমাণ একজাতীয় আধান যুক্ত দুই পদার্থ এক সেণ্টিমিটার ব্যবধানে বায়ু মাধ্যমে অবস্থিত হইলে যদি উহাদের মধ্যে এক ডাইন বিকর্ষণ বলেব উদ্ভব হয় তবে প্রত্যেক পদার্থের আধানের পরিমাণ **একমাত্রা** হইবে। এখানে $r^২=$১ সেঃ মিঃ, $q=q'=$একমাত্রা, F=১ ডাইন, ∴ C=১ ∴ $F=\frac{qq'}{r^২}$.

এই এককে C.G.S. স্থিতীয়-বিদ্যুৎ-একক (Electrostatic Units) (e. s. u) বলে। চল-বিদ্যুৎ-একককে C. G. S. চলবিদ্যুৎএকক (Electro magnetic units, e. m. u.) বলে। আধানের কার্যকারী একককে **কুলম্ব** (Coulomb) বলে।

১ কুলম্ব $=$ ৩ × ১০^৯^ e. s. u. $=\frac{১}{১০}$ e. m. u.

একটি ইলেক্‌ট্রোনের আধান $=$ ৪·৬৫ × ১০^−১০^ e. s. u.

$=$ ১·৫৫ × ১০^−২০^ e. m u $=$ ১·৫৫ × ১০^−১৯^ কুলম্ব। ধনাত্মক আধান+ চিহ্ন ও ঋণাত্মক আধান—চিহ্ন দ্বারা প্রকাশিত হয়। সুতরাং $+q\times+q'$ কিংবা $-p\times-q'=+F$ অর্থাৎ বিকর্ষণ বল ধনাত্মক চিহ্ন দ্বারা প্রকাশিত হয়। $+q\times-q'$ কিংবা $-q\times+q'=-F$ অর্থাৎ আকর্ষণ বল ঋণাত্মক চিহ্ন দ্বারা প্রকাশিত হয়।

৩০। **মাধ্যমের প্রভাব**ঃ তড়িৎ বলের পরিমাণ মাধ্যমের উপর নির্ভর করে।

পরীক্ষাঃ একটি বিন্দু হইতে রেশম সুতা দিয়া দুইটি একই আধানযুক্ত কর্ক বল ঝুলাও। ইহারা বিকর্ষণের জন্য কিছু দূরে যাইয়া স্থির হইবে। ইহাদের মধ্যে কাচ, গালা, কাঠ, আবলুস প্রভৃতি অপরিবাহী রাখিলে বিস্ফারণের মাত্রা বিভিন্ন পরিমাণে কমে। ইহা হইতে প্রমাণ হয় যে এই সকল অপরিবাহী আধান পরিবহন করে না কিন্তু ইহাদের মধ্য দিয়া তড়িৎ বল (আকর্ষণ বা বিকর্ষণ) বিভিন্ন পরিমাণে ক্রিয়া করে। ফ্যারাডে এইরূপ মাধ্যমকে Dielectric বলেন। সুতরাং অন্য মাধ্যমে ধ্রুবক C এক হইতে পারে না তখন সমীকরণ এইরূপ হয়ঃ—

$$F=\frac{1}{K}\cdot\frac{qq'}{r^2}.\quad K=\frac{\text{বায়ু মাধ্যমে বলের পরিমাণ}}{\text{অন্য মাধ্যমে বলের পরিমাণ}}$$

এই ধ্রুবকে $\left(\frac{1}{K}\right)$ Dielectric ধ্রুবক বা specific Inductive Capacity বলে।

৩১। **তড়িৎ ক্ষেত্র** : একটি আহিত পদার্থের বা কতকগুলি আহিত পদার্থের সমবায়ের চতুর্দিকে যে অঞ্চলে অন্য কোন ক্ষুদ্র আহিত পদার্থ আনিলে তাহার উপর প্রথম পদার্থের তড়িৎ আকর্ষণ বা বিকর্ষণ বল ক্রিয়া করে সেই অঞ্চলকে প্রথম পদার্থের **তড়িৎ ক্ষেত্র** বলে।

৩২। **ক্ষেত্রের তীক্ষ্ণতা** : (Intensity of the field) : ক্ষেত্রের যে কোন বিন্দুতে স্থাপিত এক মাত্রা ধনাত্মক আধানের উপর ক্রিয়াশীল বলকে ক্ষেত্রের **তীক্ষ্ণতা** বলে। ইহা C. G. S পদ্ধতিতে ডাইনে প্রকাশিত হয়। ধনাত্মক এক মাত্রা আধান যে অভিমুখে চলিতে চেষ্টা করে সেই অভিমুখই তীক্ষ্ণতার অভিমুখ হয়।

q আধান হইতে r দূরত্বে এক একক মাত্রা আধানের উপর বল $f=\frac{q\times 1}{r^2}$ ডাইন। সংগানুসারে এই বল $f=$ সেই বিন্দুতে তীক্ষ্ণতা।

যদি সেই বিন্দুতে এক মাত্রা আধানের পরিবর্তে q_1 আধান রাখা যায় তবে বল $F=f\times q_1$ ডাইন।

$\therefore$ ক্ষেত্রের কোন বিন্দুতে কোন আধানের উপর বল = সেই বিন্দুতে তীক্ষ্ণতা $\times$ আধানের পরিমাণ।

অঙ্ক। Two equally charged spheres repel each other when their centres are half a metre apart with a force equal to the weight of 6 milligrams. What is the charge on each in electrostatic units ? (P. U. 1925).

$q=$ ৫, $r=$ ৫০ সেঃ মিঃ, $F=$ '০০০০৬ $\times$ ৯৮১ ডাইন, q' কত ?

$\therefore$ $\frac{q'^2}{৫০^2}=$ '০০৬ $\times$ ৯৮১ ডাইন $\therefore$ $q'=$ ১২১'৩ C. G. S একক,

2. Two small spheres each of mass one decigramm are suspended from a point by threads each 50 cms. long. They are equally charged and they repel each other to a distance of 20 cms. If $g = 980$ cms/sec^2, what is the charge on each ? (A.U. 1930)

মনে কর C বিন্দু হইতে CA ও CB সূতা দ্বারা দুইটি গোলক A ও B বিলম্বিত হইয়াছে। মনে কর AB রেখার মধ্যবিন্দু = D. CAB একটি সমদ্বিবাহু (isosceles) ত্রিভুজ গঠন করে। A গোলকের উপর তিনটি বল ক্রিয়া করে: (i) ওজন mg ডাইন নিম্নদিকে, (ii) বিকর্ষণ বল $\frac{q^2}{r^2}$ BA অভিমুখে (q = আধান, r = দূরত্ব = ২০ সেঃ মিঃ), (vii) AC অভিমুখে সূতার টান T

এই তিনটি বলের ক্রিয়ায় A ও B সাম্য অবস্থায় থাকে সুতরাং mg, $\frac{q^2}{r^2}$ ও T বলগুলি CDA ত্রিভুজের বাহুর সমান্তরাল হয়, সুতরাং আনুসঙ্গিক বাহুর দৈর্ঘের সমানুপাতিক হয়।

$$\therefore \quad \frac{q^2/r^2}{mg} = \frac{DA}{DC}; \; DA = ১০, \; DC = \sqrt{৫০^২ - ১০^২} = ১০\sqrt{২৪}$$

AB = d = ২০ সেঃ মিঃ, $m = \frac{১}{১০}$ গ্রাম.

$$\therefore \quad \frac{q^2}{২০^২} = \frac{১}{১০} \times ৯৮১ \times \frac{১০}{১০\sqrt{২৪}} = \frac{৯৮}{\sqrt{২৪}} \quad \therefore \quad q = ৮৯\text{'}৪ \text{ একক}$$

২৯। **তড়িৎ বলরেখা** (Electric Line of Force): ইহার দুইটি সংগা: (ক) তড়িৎ ক্ষেত্রে যে বক্র রেখার যে কোন বিন্দুতে অঙ্কিত স্পর্শক সেই বিন্দুতে লব্ধি তড়িৎ বলের অভিমুখ প্রকাশ করে তাহাকে বলরেখা বলে। (খ) তড়িৎ ক্ষেত্রে কোন ক্ষুদ্র মুক্ত + আধানযুক্ত সূক্ষাগ্র ছাড়িয়া দিলে যে পথে তাহা আকৃষ্ট বা বিকৃষ্ট হয় সেই পথকে **বলরেখা** বলে।

৩০। **বলরেখার ধর্ম :** (ক) + আধানযুক্ত পরিবাহী হইতে বলরেখা বাহির হইয়া − আধানযুক্ত পরিবাহীতে শেষ হয়। (খ) দুইটি বলরেখা কখনও পরস্পর ছেদ করে না কারণ এইরূপ হইলে ছেদবিন্দুতে লব্ধি বল দুইটি বিপরীত দিকে ক্রিয়া করে যাহা অসম্ভব। (গ) বলরেখা দৈর্ঘ্য বরাবর সংকুচিত হইতে চেষ্টা করে। (ঘ) বলরেখা পরিবাহীকে সমকোণে স্পর্শ করে। (ঙ) প্রত্যেক বলরেখার দুই প্রান্তে সমান কিন্তু বিপরীত আধান থাকে। (চ) যে অভিমুখে একটি ধনাত্মক আধানযুক্ত ক্ষুদ্র পরিবাহী সরিয়া যায় সেই অভিমুখকে বলরেখার ধনাত্মক অভিমুখ বলে। (ছ) বলরেখা স্থিতিস্থাপক সূতার মত আচরণ করে অর্থাৎ সূতার ন্যায় ইহারা দৈর্ঘ্য বরাবর সংকুচিত হয় এবং পার্শ্বদিকে ইহারা প্রসারিত হয় অর্থাৎ ইহারা দৈর্ঘ্য অভিমুখে আকর্ষণ করে এবং পার্শ্বদিকে বিকর্ষণ করে। (জ) পরিবাহীর মধ্যে কোন বলরেখা থাকে না। সুতরাং তড়িৎ বলরেখা বদ্ধ (closed) রেখা নয়। (ঝ) তড়িৎ ক্ষেত্রের যে কোন বিন্দুতে তীক্ষ্ণতা সেই বিন্দুর চারিপাশে একক ক্ষেত্রের (unit area) মধ্য দিয়া অতিক্রান্ত বলরেখার সংখ্যা দ্বারা মাপা হয়।

৩০ (ক)। **চৌম্বক ও তড়িৎ বলরেখার পার্থক্য :** (ক) তড়িৎ বলরেখা সমকোণে পরিবাহীর তলে শেষ হয় বা তল ত্যাগ করে। চৌম্বক বলরেখা যে কোন কোণে ইহা করে। (খ) চৌম্বক বলরেখা বদ্ধরেখা, তড়িৎ বলরেখা বদ্ধ রেখা নহে। (গ) চৌম্বক বলরেখা নিরবচ্ছিন্ন এবং চৌম্বক পদার্থের মধ্যেও অবস্থিত হয়, তড়িৎ বলরেখা পরিবাহীর মধ্যে অবস্থিত হয় না।

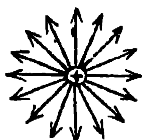
৩০ (খ)। **বলনল** (Tubes of Force.) : প্রত্যেক একমাত্রা আধান যে জায়গাটুকুতে থাকে সেই জায়গার বহিঃপ্রান্তের প্রত্যেক বিন্দু হইতে বলরেখা টানিলে রেখাগুলি দ্বারা বেষ্টিত মাধ্যমের খানিকটা জায়গা একটি নল গঠন করে। **বলনল** বলে। প্রত্যেক বলনলে 4π বলরেখা থাকে।

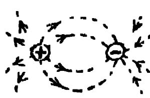
৩০ (গ)। **তড়িৎ ক্ষেত্র অঙ্কন** (Mapping of the Electric Field).

পদ্ধতি : চৌম্বক বলরেখা অঙ্কনের মত (লোহাচুর ও চুম্বক-সূচী দিয়া) তড়িৎ বলরেখা অঙ্কনের কোন সুবিধাজনক পদ্ধতি নাই। খুব পাতলা

গিপ্সাম (gypsum) স্ফটিকের গুড়া কাচ পাতের উপর কোন তড়িৎ ক্ষেত্রে ছড়াইয়া দিলে এবং পাতকে আঙ্গুল দিয়া টোকা দিলে ইহারা আবিষ্ট হইয়া বলরেখা বরাবর সজ্জিত হয়।

১৫ নং চিত্রে গোলাকার + আধানযুক্ত পরিবাহী হইতে বলরেখা চারিদিকে সরলভাবে ও সমভাবে ছড়াইয়া পড়িয়াছে। রেখাগুলিকে ভিতর দিকে বাড়াইয়া দিলে কেন্দ্রে পরস্পর মিশে। তীরচিহ্ন বলরেখার অভিমুখ নির্দেশ


১৫ নং চিত্র


১৬ নং চিত্র


১৭ নং চিত্র

করে। ১৬ নং চিত্রে দুইটি বিপরীত ও সম আধানযুক্ত পরিবাহীর মধ্যে বলরেখার বিস্তৃতি দেখান হইয়াছে। সমসংখ্যক রেখা + আধান হইতে বাহির হইয়া – আধানে শেষ হইয়াছে। রেখাগুলি দৈর্ঘ্য বরাবর সংকুচিত হইতে চেষ্টা করে সুতরাং দুই পরিবাহী আকৃষ্ট হয়। ১৭ নং চিত্রে দুইটি + সম আধান যুক্ত পরিবাহীর মধ্যে বলরেখার বিস্তৃতি দেখান হইয়াছে। একই অভিমুখের রেখাগুলি পার্শ্বভাবে দূরে দূরে যাইতে চেষ্টা করে সেইজন্য দুই পরিবাহীর মধ্যে বিকর্ষণ দেখা যায়। যদি দুইটি আধানের দূরত্বের ঠিক মধ্যবিন্দুতে একক মাত্রা আধান রাখা যায় তাহা হইলে ইহার উপর দুইটি সমান বল ক্রিয়া করে সুতরাং এই বিন্দুতে কোন তীক্ষ্ণতা অনুভূত হয় না। এইরূপ বিন্দুকে **উদাসীন বিন্দু** (×) বলে। দুইটি আধানের প্রকৃতি যদি বিপরীত হয় কিন্তু সমান না হয় তবে তাহাদের বলরেখার বিস্তৃতি পরিবর্তিত হয়।

দ্রষ্টব্য ঃ মনে রাখিবে একটি আধান ও একটি চুম্বক স্থির অবস্থায় থাকিলে উহাদের বলরেখা পরস্পরকে প্রভাবান্বিত করে না কিন্তু একটি তড়িতাধানকে যদি সমান্তরালভাবে সরান যায় তবে ইহার গতির অভিলম্বে চৌম্বক বলরেখার সৃষ্টি হয়। আবার যদি একটি চুম্বককে এইরূপভাবে সরান যায় তবে চৌম্বক বলরেখার সৃষ্টি হয়।

৩১। তড়িৎ বিভব (Electric Potential) :

যখন দুইটি অন্তরিত আহিত পরিবাহী A ও B সংস্পর্শে রাখা হয় বা উহাদিগকে একটি ধাতব তার দিয়া যোগ করা হয় তখন তড়িৎ এক পরিবাহী হইতে অন্য পরিবাহীতে গমন করিবে। মনে কর A হইতে B-তে এইরূপে তড়িৎ গমন করে। এখানে বলা হয় B অপেক্ষা A উচ্চতর বিভবে অবস্থিত। যদি উহাদের মধ্যে তড়িৎ চলাচল না হয় তবে বুঝিতে হইবে A ও B এর বিভব সমান। সুতরাং কোন পরিবাহীর যে তড়িতাবস্থা তাহার সহিত সংযুক্ত অন্য কোন পরিবাহীর মধ্যে তড়িৎ প্রবাহে হইবে কিনা এবং হইলে কোন দিকে হইবে তাহা নির্ণয় করে সেই তড়িতাবস্থাকে **তড়িৎ বিভব** বলে।

৩২। বিভবের তুলনা : (ক) চাপের বা তরলের সঙ্গে তুলনা :

তরল সর্বদাই উচ্চ তল বা চাপ হইতে নিম্নতলে বা চাপে প্রবাহিত হয়। মনে কর A পাত্রে দশ গ্যালন জল এবং B পাত্রে একসের জল আছে। B পাত্রের জল উচ্চতলে ও A পাত্রের জল নিম্নতলে অবস্থিত। A ও B পাত্রের নিম্নতম অংশ নল দিয়া যোগ করিলে জল B পাত্র হইতে A পাত্রে প্রবাহিত হইবে যতক্ষণ না দুই পাত্রের জল একতলে আসে, যদিও A পাত্রে বেশী জল আছে। B পাত্র উচ্চতলে থাকাতে জলের চাপ বেশী হয়। এখানে তরলের প্রবাহ তরলের পরিমাণের উপর নির্ভর করে না, তরলের তল বা চাপের উপর নির্ভর করে।

(খ) উষ্ণতার সঙ্গে তুলনা : এক বাল্‌তি ঈষদুষ্ণ (মনে কর ৩০°c) জলে এক চামচ ফুটন্ত জল (১০০°c) মিশাইলে তাপ চামচের জল হইতে বালতির জলে প্রবাহিত হইবে যতক্ষণ না উভয়ের উষ্ণতা এক হয় যদিও বালতিতে মোট তাপ চামচের জলের মোট তাপের চেয়ে বেশী। এখানে তাপের প্রবাহ মোট তাপের উপর নির্ভর করে না, উষ্ণতার উপর নির্ভর করে। দুই পদার্থ একই উষ্ণতায় থাকিলে উহাদের মধ্যে কোন তাপ চলাচল হয় না। সুতরাং চাপের সঙ্গে জলের পরিমাণের সম্পর্ক—উষ্ণতার সঙ্গে তাপের পরিমাণের সম্পর্ক—বিভবের সঙ্গে তড়িতের পরিমাণের সম্পর্ক, সুতরাং চাপ যেমন তরলের প্রবাহ, উষ্ণতা যেমন তাপের প্রবাহ নিয়ন্ত্রণ করে বিভব তেমন তড়িতের

প্রবাহ নিয়ন্ত্রণ করে। তড়িৎ উষ্ণ বিভব হইতে নিম্ন বিভবে প্রবাহিত হয় যতক্ষণ না উভয়ের বিভব এক না হয়। এই কারণে বিভবকে তড়িৎ-চাপ (Electric Pressure) বলা হয়। এই সংগাকে ঘুরাইয়া বলা যায় যে বিভব মুক্ত আধানের গতির অভিমুখ নিয়ন্ত্রণ করে।

(গ) উষ্ণতা ও বিভবের তুলনা : (ক) উষ্ণতা ও বিভব যথাক্রমে তাপ ও তড়িৎ প্রবাহ নিয়ন্ত্রণ করে। (খ) তাপ দিলে পদার্থের উষ্ণতা বাড়ে, তাপ অপসারিত করিলে পদার্থের উষ্ণতা কমে। পব পর + আধান যোগ করিলে পরিবাহীর বিভব বাড়ে, – আধান যোগ করিলে বা + সবাইলে বিভব কমে। (গ) বিভিন্ন উষ্ণতার পদার্থের তাপীয় সংযোগ হইলে উহাদের উষ্ণতা মধ্যম রকমের হয়। বিভিন্ন বিভবের পরিবাহীর বৈদ্যুতিক সংযোগ হইলে উহাদের বিভব মধ্যম রকমের হয়। (ঘ) সমস্বত্ব পরিবাহীতে তাপ দিলে তাপ সর্বত্র সমভাবেই ছড়াইয়া পড়ে এবং সর্বত্র উহার উষ্ণতা এক হয়। কোন পরিবাহীতে তড়িৎ দিলে আধান পরিবাহীর সর্বত্র সমভাবে ছড়াইয়া নাও পড়িতে পারে কিন্তু পরিবাহীর বিভব সর্বত্র সমান হয়। (ঙ). উষ্ণতার মাপে বরফের গলনাঙ্ককে ও জলের স্ফুটনাঙ্ককে প্রমাণ উষ্ণতা ধরা হয়। পৃথিবীর বিভবকে O বিভব ধরা হয়। (চ) উষ্ণতার পরিবর্তন পদার্থের অবস্থান্তর ঘটায় কিন্তু বিভবের পরিবর্তনে পরিবাহীর অবস্থার পরিবর্তন ঘটে না।

৩৩। **বিভবের ব্যাখ্যা :**—আধানযুক্ত পরিবাহীতে মুক্ত ইলেক্‌ট্রোনের সংখ্যাধিক্য থাকে। এই ইলেক্‌ট্রোনগুলি পরস্পর বিকর্ষণ করে সেইজন্য ইহারা পরিবাহীর শেষ প্রান্তে আসিয়া হাজির হয় এবং বলরেখা বরাবর মাধ্যমের মধ্য দিয়া অন্য পরিবাহীর ইলেক্‌ট্রোনকে বিকর্ষণ করে। এই বিকর্ষণের জন্য ইলেক্‌ট্রোনগুলি পরস্পরের উপর একটু **চাপ** দেয়। এই চাপই ইলেক্‌ট্রোনগুলিকে ঠেলিয়া অন্য পদার্থে চালান দেয়। তরলের চাপ যেমন জলের অণুর উপর অভিকর্ষ (force of gravity) বলের ক্রিয়ার ফল সেইরূপ বিভব আধানের পরস্পরের উপর ক্রিয়ার ফল। তড়িতাহিত পদার্থের চতুর্দ্দিকের মাধ্যম বিকৃত (in a state of strain) অবস্থায় থাকে,

অন্তরক মাধ্যম (insulating medium) এই চাপ সহ্য করিতে পারে কিন্তু পরিবাহী এই চাপ সহ্য করিতে পারে না। সেইজন্য পরিবাহীর মধ্যে ইলেকট্রোন-গুলি গতিশীল হয়।

নিরেট পরিবাহীর সকল বিন্দুতে কিংবা কতকগুলি যুক্ত পরিবাহীর সকল বিন্দুতে কিংবা ফাঁপা পরিবাহীর ভিতর বা বাহির তলের সকল বিন্দুতে বিভব এক হয়। কিন্তু কোন অন্তরকের বিভিন্ন অংশে বিভিন্ন বিভব থাকিতে পারে।

৩৪ **পৃথিবীর বিভব:** বরফের গলনাঙ্কের উষ্ণতাকে 0° উষ্ণতা ধরা হয় এবং সমুদ্র তলের তলকে 0° তল ধরা হয়। যেমন 0° উষ্ণতার উপরের উষ্ণতাকে + উষ্ণতা ও নীচের উষ্ণতাকে − উষ্ণতা ধরা হয় সেইরূপ পৃথিবীর বিভবকে O বিভব ধরিয়া উপরের বিভবকে ধনাত্মক আধানের বিভব এবং নীচের বিভবকে ঋণাত্মক আধানের বিভব ধরা হয়। পৃথিবীর বিভবকে O বিভব ধরা হয় কারণ পৃথিবী এত বিশাল যে, আমরা কোন পার্থিব উপায়েই ইহাতে আধান দিয়া বা ইহা হইতে আধান লইয়া ইহার বিভব পরিবর্তন করিতে পারি না। যেমন বিশাল সমুদ্রে যতই জল পতিত হউক না কেন ইহার তল পরিবর্তিত হয় না। গাণিতিক গবেষণায় অসীম দূরত্বের বিভবকে O বিভব ধরা হয়।

৩৫। **ধনাত্মক ও ঋণাত্মক বিভব:** + আধানযুক্ত পরিবাহীর চারিপাশের তড়িৎ ক্ষেত্রে ধনাত্মক বিভব থাকে। এই ধনাত্মক বিভবের পরিমাণ পরিবাহী হইতে দূরত্বের অনুপাতে কমে। কোন − আধানযুক্ত পরিবাহীর চারিপাশের ক্ষেত্রে ঋণাত্মক বিভব থাকে। এই ঋণাত্মক বিভবের পরিমাণ পরিবাহী হইতে দূরত্বের অনুপাতে বাড়ে। + আধানযুক্ত পরিবাহী উচ্চ বিভব হইতে নিম্ন বিভবের দিকে আসিতে চায়। −আধান যুক্ত পরিবাহী নিম্ন বিভব হইতে উচ্চ বিভবের দিকে যাইতে চাহে। + আধান ও −আধানের উপর ক্রিয়াশীল বলের অভিমুখ বিপরীত যেহেতু ইলেকট্রোনে−আধান থাকে সুতরাং ইলেকট্রোন নিম্ন বিভব হইতে উচ্চ বিভবের দিকে যাইতে চাহে। মাটির সহিত সংযুক্ত পরিবাহীর শূন্য বিভব থাকে। পরিবাহীকে মাটির সহিত

সংযুক্ত করিলে যদি + আধান পরিবাহী হইতে মাটিতে যায় অর্থাৎ মাটি হইতে ইলেক্‌ট্রোন পরিবাহীতে যায় তবে পরিবাহীর বিভব **ধনাত্মক** হয়। আর যদি + আধান মাটি হইতে পরিবাহীতে যায় অর্থাৎ ইলেক্‌ট্রোন পরিবাহী হইতে মাটিতে যায় তবে পরিবাহীর বিভব **ঋণাত্মক** হয়

৩৬। বিভব ও কার্য ঃ বিভবের মাপ ঃ পৃথিবীপৃষ্ঠ হইতে যত উচ্চে কোন পদার্থ উঠান যায় তত উহার স্থৈতিক শক্তি বেশী হয়। পৃথিবীপৃষ্ঠ হইতে কোন স্থানে একক ভরকে তুলিতে যে পরিমাণ কার্য সম্পাদিত হয় সেই কার্য দ্বারা সেই স্থানের স্থৈতিক শক্তি মাপা যায়। এইরূপে কোন তড়িৎ ক্ষেত্রে একক ধনাত্মক আধান দ্বারা সম্পাদিত কার্য দিয়া বিভবকে মাপা হয়। নিম্নলিখিত উদাহরণ দ্বারা ইহা বুঝান গেল।

মনে কর একটি A পবিবাহীতে $+q$ একক আধান আছে। এই পরিবাহী হইতে r দূরত্বে B পরিবাহীতে $+'q$ একক আধান আছে। ইহাদেব মধ্যে $\frac{qq'}{r^2}$ বিকর্ষণ বল ক্রিয়া কবিবে। এখন Bকে Aর কাছে আনিতে গেলে বিকর্ষণ বলের বিরুদ্ধে কার্য (work) করিতে হইবে। যদি A ও Bতে বিপরীত আধান থাকে তবে Bকে দূরে লইযা যাইতে হইলে আকর্ষণ বলের বিরুদ্ধে কার্য করিতে হইবে। মনে কর B পবিবাহীতে একক ধনাত্মক আধান আছে এবং ইহা A পরিবাহী হইতে অসীমে অবস্থিত। Bকে অসীম হইতে যত Aব কাছে আনা যায় ততই কার্যের পবিমাণ বাড়িতে থাকে। কোন বিন্দুর বিভব বলিতে বিকর্ষণ বলের বিরুদ্ধে অসীম দূরত্ব হইতে সেই বিন্দুতে এক মাত্রা ধনাত্মক আধান আনিতে তড়িৎ বলের বিরুদ্ধে বা তড়িৎ বলের দ্বারা যে কার্য সম্পাদিত হয় সেই কার্যের পরিমাণকে বুঝাইবে। ঋণাত্মক আধানের তড়িৎ ক্ষেত্রে ধনাত্মক একক আধান অসীম হইতে কোন বিন্দুতে আনিলে কার্য সম্পাদন করে সুতরাং ইহার শক্তি ক্ষয় হয় এবং যে কোন বিন্দুতে বিভব ঋণাত্মক হয়।

দুই বিন্দুর বিভবের পার্থক্য—এক বিন্দু হইতে অপর বিন্দুতে একক ধনাত্মক আধান লইয়া যাইতে সম্পাদিত কার্যের পরিমাণ

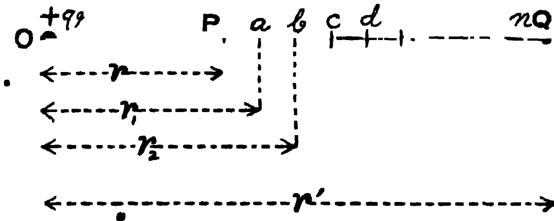
∴ কার্য $W = q(V_A - V_B)$ এখানে q = আধানের পরিমাণ। V_A ও V_B = A ও Bতে বিভব

৩৭ বিভবের একক ঃ

অসীম হইতে এক একক ধনাত্মক আধান তড়িৎ ক্ষেত্রের কোন বিন্দুতে আনিলে যদি কার্যের পরিমাণ এক আর্গ হয় তবে সেই বিন্দুর বিভবকে এক Electro Static একক বলে(E. S. U.)। কার্যকরী এককের নাম **ভোল্ট** (Volt) দেওয়া হয়। ১ ভোল্ট = $\frac{১}{৩০০}$ E, S. U.

৩৮ পরিবাহীর বিভব ঃ অসীম দূরত্ব (O বিভব) হইতে একমাত্রা ধনাত্মক আধান কোন পরিবাহীর **একান্ত সমীপবর্তি** বিন্দু পর্যন্ত আনিতে যতটুকু কার্য করিতে হয় তাহাই হইবে পরিবাহীর বিভবের মাপ।

৩৯। একটি বিন্দু-আধানে (point-charge) বিভব গণনা ঃ মনে কর +q একক আধানযুক্ত অতি ক্ষুদ্র পরিবাহী O বিন্দুতে অবস্থিত আছে। ইহার নিকটে আর কোন আধান নাই। মনে কর তড়িৎ ক্ষেত্রের P



১৮ নং চিত্র

বিন্দুতে একক মাত্রা ধনাত্মক আধান আছে। এখন P বিন্দুতে qর জন্য বিভব বাহির করিতে হইবে। আমরা জানি P বিন্দুতে বিভব = অসীম হইতে P বিন্দু পর্যন্ত একক ধনাত্মক আধান আনিতে সম্পাদিত কার্যের পরিমাণ। O ও P বিন্দু যুক্ত কর ও এই রেখাকে ডানদিকে বর্ধিত কর: এই রেখার উপর O হইতে বহু বহু দূরে Q বিন্দু লও। P Q ($= r'$) দূরত্বকে অনেকগুলি ক্ষুদ্র ক্ষুদ্র সমান অংশে ভাগ কর যথা P a, a b, b c,... n Q ইত্যাদি। মনে কর OP $= r$, Oa $= r_1$, Ob $= r_2$, ইত্যাদি।

r দূরত্বে P বিন্দুতে একক ধনাত্মক আধানের উপর ক্রিয়াশীল বল $=\frac{q\times 1}{r^2}$ – (ক)

r_1 ,, a ,, ,, ,, ,, ,, ,, ,, $=\frac{q\times 1}{r_1^2}$ –(খ)

∴ P ও a এর মধ্যে গড় বল $=$ (ক) ও (খ) এর গুণোত্তর মাধ্যম (geometric mean):

$$=\sqrt{\frac{q}{r^2}\times\frac{q}{r_1^2}}=\frac{q}{r.r_1} \quad (r, r_1 \text{ খুব ক্ষুদ্র})$$

∴ a হইতে P তে একক ধনাত্মক আধান লইয়া যাইতে সম্পাদিত কার্য

$$=\text{গড় বল}\times\text{দূরত্ব}=\frac{q}{rr_1}\left(r_1-r\right)=q\left(\frac{1}{r}-\frac{1}{r_1}\right)$$

এইরূপে b হইতে a তে এক ধনাত্মক আধান লইয়া যাইতে সম্পাদিত কার্য

$$=q\left(\frac{1}{r_1}-\frac{1}{r_2}\right) \text{ এবং এইরূপ...}$$

∴ Q হইতে n তে সম্পাদিত কার্য $=q\left(\frac{1}{r_n}-\frac{1}{r'}\right)$

∴ একক ধনাত্মক আধানকে Q হইতে P তে আনিতে মোট সম্পাদিত কার্য

$$=q\left(\frac{1}{r}-\frac{1}{r_1}\right)+q\left(\frac{1}{r_1}-\frac{1}{r_2}\right)$$

$$+\cdots\cdots q\left(\frac{1}{r_n}-\frac{1}{r'}\right)=q\left(\frac{1}{r}-\frac{1}{r'}\right)$$

আবার যদি P ও Q তে বিভব যথাক্রমে V_r ও V_r' হয় তবে সংগানুসারে মোট কার্য

$$=Vr-Vr' \quad \therefore \quad Vr-Vr'=q\left(\frac{1}{r}-\frac{1}{r'}\right)$$

Q বহু বহু দূরে $\therefore \frac{1}{r'}=0, V_r'=0$

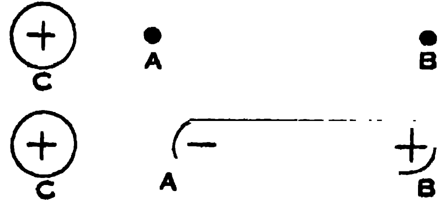
∴ $V_r=\frac{q}{r}$, কথায় q হইতে r দূরত্বে বিভব = আধান ÷ দূরত্ব

৪০। **কয়েকটি আধানের জন্য বিভব:** উপরোক্ত সংগানুসারে বিভব একটি scalar রাশি অর্থাৎ ইহার পরিমাণ আছে কিন্তু অভিমুখ নাই। অনেকগুলি আধানের q, q_1, q_2 ··আধানের দরুণ কোন বিন্দুতে বিভব = প্রত্যেক আধানের দরুণ বিভবের যোগফল

$$\therefore \text{ মোট বিভব}=\frac{q}{}+\frac{q_1}{}+\frac{q_2}{}\cdots\cdots=\Sigma\frac{q}{}$$

দ্রষ্টব্য ঃ—(ক) আধান ঋণাত্মক হইলে বিভবও ঋণাত্মক হয়। $-q$ আধানের জন্য বিভব $=-\frac{q}{r}$ সুতরাং দুইটি বিপরীত আধানের দরুণ বিভব $=$ দুই বিভবের পার্থক্য। দুইটি বিপরীত আধান পরস্পরের কাছে আসিতে থাকিলে স্থৈতিক শক্তির হ্রাস হইতে থাকে। (খ) যখন কোন পদার্থ কোন তড়িৎ শক্তি শোষণ করে, তখন অণুতে ইলেক্‌ট্রোন নিউক্লিয়াস হইতে দূরে সরিয়া যায় এবং অণুর স্থৈতিক শক্তি বৃদ্ধি পায়। অণু তখন অপ্রতিষ্ঠ হয়। যখন ইলেক্‌ট্রোন পূর্ব অক্ষে ফিরিয়া আসে তখন অণুর অতিরিক্ত শক্তি আলোকরূপে ছাড়িয়া দেয়। (গ) এই সকল গণনায় "অসীম দূরত্ব" অর্থে এমন দূরত্ব বোঝায় যেখানে আহিত পদার্থের কার্যতঃ কোন প্রভাব নাই।

৪১। বিভব দ্বারা আবেশের ব্যাখ্যা (Explanation of Induction by Potential) : মনে কর C একটি + আধানযুক্ত পরিবাহী। C এর নিজের আধানের একটি বিভব আছে। ইহাকে **মুক্ত বিভব** (free potential) বলে। C এর চতুপার্শ্বে তড়িৎ ক্ষেত্রে ধনাত্মক বিভব সৃষ্ট হয় এবং এই বিভব C হইতে দূরত্বের অনুপাতে কমিয়া যায় কারণ বিভব $=\frac{q}{r}$। তড়িৎ ক্ষেত্রে দুইটি বিন্দু A ও B লও। C হইতে B অপেক্ষা A নিকট সুতরাং A ও B বিন্দুতে বিভব ধনাত্মক হইবে কিন্তু A র বিভব B এর বিভবের চেয়ে বেশী হইবে এবং A ও B এর বিভবের (বা তড়িৎ চাপের পার্থক্য) A হইতে B তে তড়িৎ প্রবাহিত করাইত। কিন্তু ক্ষেত্রটির মাধ্যম অন্তরক বায়ু বলিয়া A হইতে B তে কোন তড়িৎ চলাচল হইবে না। মাধ্যমে একটি সমান প্রতিক্রিয়ার সৃষ্টি হইবে। মাধ্যমটি বিকৃত (in a strate



১৯ নং চিত্র

of strain) অবস্থায় থাকে। এখন A ও B বিন্দু কোন অন্তরিত পরিবাহী দ্বারা যোগ করিলে আধানের নূতনভাবে বণ্টন হয় কারণ উচ্চতর বিভব A হইতে নিম্নতর বিভব B তে + আধান এবং নিম্নতর বিভব B হইতে A তে – আধান প্রবাহিত হয়। + আধান Bর বিভব বাড়াইবে এবং – আধান Aর বিভব কমাইবে যতক্ষণ A ও Bর সর্বত্র সমান বিভব না হয়। এই লব্ধি বিভব দুই বিভবের মাধ্যম হয়। পরিবাহীতে কোন প্রতিক্রিয়ার সৃষ্টি হয় না বলিয়া তড়িৎ প্রবাহিত হয়। মোট ফল এই দাঁড়ায় যে A প্রান্তে ঘাটতি বা ঋণাত্মক আধান ও B প্রান্তে অতিরিক্ত বা ধনাত্মক আধানের উৎপত্তি হয়। এই ঘটনাকে আবেশ দ্বারা আধানের অপসারণ (inductive displacement) বলে। আধানের ঘনত্ব A ও B প্রান্তে বেশী হইয়া কমিতে কমিতে মাঝামাঝি অঞ্চলে একবারে শূন্য হয়। মাঝামাঝি সরু অঞ্চলকে **উদাসীন অঞ্চল** বলে।

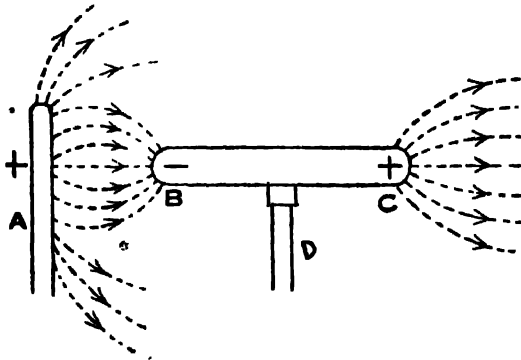
A B পরিবাহীর মোটের উপর কোন আধান থাকে না অর্থাৎ ইহা তড়িৎ-উদাসীন থাকে। সুতরাং ইহার নিজস্ব কোন বিভবও থাকে না। C এর আধানের প্রভাবে AB পরিবাহীতে বিভবের সৃষ্টি হয়। সেইজন্য এই বিভবকে **আবিষ্ট বিভব** (Induced Potential) বলে। C এর যে জাতীয় বিভব, আবিষ্ট বিভব সেই জাতীয় হয়।

যদি A B কে মাটির সহিত সংযুক্ত করা যায় তবে + আধান উচ্চ বিভব হইতে শূন্য বিভব মাটিতে চলিয়া যাব এবং A B বিভব শূন্য হয় যদিও ইহার ঋণাত্মক আধান থাকে। A তে আরও ঋণাত্মক আধানের উৎপত্তি হয়। কারণ এই পরিবাহী হইতে মাটিতে ধনাত্মক আধান চলিয়া যায়, যতক্ষণ না ABর ঋণাত্মক বিভব Cর ধনাত্মক বিভবের সঙ্গে সমান না হয়। সুতরাং ABর বিভবের মান শূন্য হয়। C কে সরাইয়া লইলে এবং AB কে মাটি হইতে বিচ্ছিন্ন করিলে ঋণাত্মক আধান AB তে ছড়াইয়া পড়ে এবং ABর বিভব মুক্ত ঋণাত্মক বিভব হয়।

৪২। **ইলেকট্রোন দ্বারা বিভবের ব্যাখ্যা ঃ** ইলেকট্রোন (ঋণাত্মক আধান) নিম্ন বিভব B হইতে উচ্চ বিভব Aর দিকে যায়। সুতরাং অতিরিক্ত

ইলেকট্রোন থাকার দরুণ A প্রান্ত ঋণাত্মক আধানযুক্ত হয়। ইলেকট্রোনের ঘাটতি থাকার দরুণ B প্রান্ত ধনাত্মক আধানযুক্ত হয়। A প্রান্তে ইলেক্‌ট্রোনের বাড়তি = B প্রান্তে ইলেক্‌ট্রোনের ঘাটতি। সুতরাং মুক্ত ও বদ্ধ আবিষ্ট আধান সমান হয়। যখন AB মাটির সহিত সংযুক্ত হয় তখন ইলেক্‌ট্রোন মাটি হইতে ABতে প্রবাহিত হয় এবং বিভব শূন্য মানে আসে। C কে সরাইলে বাড়তি ইলেক্‌ট্রোন AB ময় ছড়াইয়া পড়ে সুতরাং AB তে ঋণাত্মক আধান থাকিয়া যায়।

৪৩। **তড়িৎ বলরেখা দ্বারা আবেশের ব্যাখ্যা:** (ক) **আবিষ্ট মুক্ত ও বদ্ধ আধান সমান:** আমরা জানি বলরেখা + আধান হইতে বাহির হইয়া —আধানে শেষ হয়। + আধানযুক্ত A কাচদণ্ড হইতে চারিদিকে বলরেখা বাহির হইয়া বায়ু মাধ্যমের মধ্য দিয়া দেওয়ালে যায়। BC কোন অন্তরিত পরিবাহী A দণ্ডের কাছে আনিলে A হইতে বেশীর ভাগ



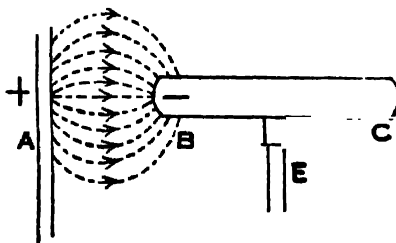
২০ নং চিত্র

বলরেখা BC পরিবাহীর মধ্য দিয়া যায় কারণ বলরেখা অন্তরক অপেক্ষা পরিবাহীর মধ্য দিয়া গমন করিতে কম বাধাপ্রাপ্ত হয় (৩৩ নং অনুচ্ছেদ)। BC পরিবাহীর B প্রান্তে বলরেখা প্রবেশ করে বা শেষ হয় সুতরাং B প্রাপ্ত − আধানযুক্ত হয়। C প্রান্ত হইতে বলরেখা বাহির হয় সুতরাং C প্রান্ত + আধান যুক্ত হয়, BCর নিজস্ব কোন আধান নাই এবং মোটের উপর ইহা তড়িৎ

উদাসীন হয় সুতরাং যতগুলি বলরেখা B প্রান্তে ঢোকে ঠিক ততগুলি বলরেখা C প্রান্ত ত্যাগ করে। সুতরাং আবিষ্ট ধনাত্মক ও ঋণাত্মক আধান সমান হয়।

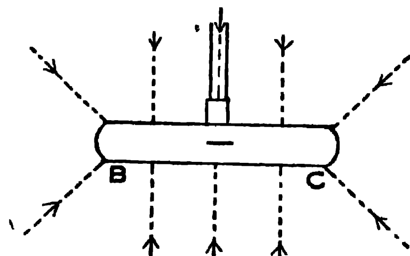
(খ) **আবেশকারী আধান আবিষ্ট আধান অপেক্ষা বেশী:** A হইতে বহির্গত সমস্ত বলরেখা Bতে শেষ হয় না, কতকগুলি পার্শ্ববর্তি দেওয়াল বা অন্য পদার্থে শেষ হয় সুতরাং Aর মোট + আধান > আবিষ্ট – আধান। যখন Aর চারিধারে আবিষ্ট পরিবাহী থাকে তখন এইরূপ হয় না।

(গ) **আবদ্ধ আধান-বৃদ্ধি:** BCকে মাটির সহিত সংযুক্ত করিলে C প্রান্তের মুক্ত + আধান মাটিতে চলিয়া যায়, ইহার বিভব শূন্য মানে আসে। C প্রান্তের বলরেখা অদৃশ্য হয়। A হইতে যে সকল বলরেখা দূরের O বিভবের পদার্থে শেষ হইত তাহারা এখন ঘুরিয়া কাছের BC পদার্থে শেষ হয়। সুতরাং A হইতে অধিক সংখ্যক বলরেখা B প্রান্তে শেষ হয় সুতরাং B প্রান্তে – আধান সামান্য বাড়ে।



২১ নং চিত্র

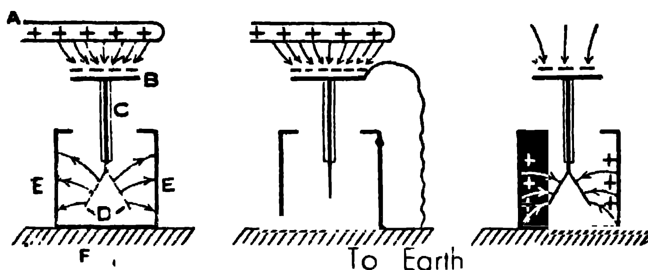
(ঘ) মাটির সহিত সংযোগ বিচ্ছিন্ন করিলে এবং A কে সরাইলে যে সকল বলরেখা B প্রান্তে শেষ হইত সেইগুলি BCর উপর সর্বত্র সমভাবে ছড়াইয়া পড়ে অর্থাৎ – আধান সর্বত্র ছড়াইয়া পড়ে। BCর বিভব ঋণাত্মক হয়। ঘরের চারিপাশ হইতে বলরেখা BCতে শেষ হয়।



২২ নং চিত্র

৪৪ **স্বর্ণ-পত্র বীক্ষণের আবেশের ব্যাখ্যা:** বীক্ষণের চাকতি B C পরিবাহীর সঙ্গে তুলনীয়। (ক) + আধানযুক্ত A দণ্ড অনাহিত বীক্ষণের B চাকতির কাছে লইয়া যাইলে দণ্ড হইতে কতকগুলি বলরেখা B

চাকতিতে শেষ হয় সুতরাং B চাকতিতে আধান উৎপন্ন হয়। চিত্রে তীর চিহ্ন বলরেখার অভিমুখে নির্দেশ করে। A চাকতি ও B দণ্ডের মধ্যে আকর্ষণ হয়।



২৩ নং চিত্র

(খ) B চাকতি, C দণ্ড ও D স্বর্ণপত্র একটি নিরবচ্ছিন্ন পরিবাহী গঠন করে সুতরাং স্বর্ণপত্র হইতে বলরেখা বাহির হয় এবং স্বর্ণপত্র + আধান যুক্ত হয়। এই পরিবাহী-মোটের উপর তড়িৎ উদাসীন সুতরাং A দণ্ড হইতে B চাকতিতে পতিত বলরেখার সংখ্যা = + আধানযুক্ত স্বর্ণ-পত্র হইতে বহির্গত বলরেখার সংখ্যা।

(গ) টিনপাত প্রায় স্বর্ণপত্রকে ঘিরিয়া থাকে এবং টিনপাত মাটির সহিত সংযুক্ত থাকে সুতরাং + আধান যুক্ত স্বর্ণপত্র হইতে উত্থিত প্রায় সব বলরেখা টিনপাতে শেষ হয়। সুতরাং টিনপাত আবেশ দ্বারা − আধান যুক্ত হয়। টিনপাতের + আধানকে মাটি হইতে ইলেক্‌ট্রোন আসিয়া প্রশমিত করে। এই সকল বলরেখার দৈর্ঘ্য বরাবর সংকোচনের টানে (tension) স্বর্ণপত্র বিস্ফারিত হয়।

(ঘ) চাকতিকে স্পর্শ করিলে স্বর্ণপত্রের মুক্ত + আধান মাটীতে প্রবেশ করে। স্বর্ণপত্রের ও টিনপাতের মধ্যস্থ বলরেখা অন্তর্হিত হয় এবং স্বর্ণপত্র নিমীলিত হয়। (চ) A দণ্ডকে সরাও। চাকতির বদ্ধ − আধান চাকতি, দণ্ড ও স্বর্ণপত্রে ছড়াইয়া পড়ে। এইবার স্বর্ণপত্র − আধানে আহিত হয় এবং টিনপাত আবেশে + আধানে আহিত হয়। এই বলরেখা টিনপাত

ও স্বর্ণপত্রকে সংযুক্ত করে। আমরা জানি বলরেখা দৈর্ঘ্য বরাবর সংকুচিত হইতে চেষ্টা করে সুতরাং স্বর্ণপত্রকে বিস্ফারিত করে।

৪৫। **তড়িৎ-বীক্ষণ দ্বারা বিভব মাপ : নীতি :** কোন পরিবাহীতে যত বেশী আধান দেওয়া যায় তত বিভব বাড়ে এবং টিনপাত ও স্বর্ণপত্রেব মধ্যে যত বিভবের পার্থক্য হয় তত বেশী স্বর্ণপত্রের বিস্ফারণ বাড়ে। সুতরাং স্বর্ণপত্রের বিস্ফারণের মাত্রা মাপিয়া আধান ও বিভব দুইই মাপা যায়। স্বর্ণপত্রের পিছনে একটি অংশাঙ্কিত বৃত্ত রাখা হয়। বিভব মাপার যন্ত্রকে **ইলেক্‌ট্রোমিটার** (Elecrometer) বলে। বিভব ও আধান মাপাব সর্ত পৃথক।

পরীক্ষা : (ক) অনাহিত তড়িৎবীক্ষণকে কোন অন্তরকেব উপব রাখ। চাকতি ও টিনপাতকে একটি তার দিয়া যোগ কর। একটি আহিত পদার্থকে চাকতির সংস্পর্শে বাখ কিংবা তড়িৎযন্ত্র হইতে চাকতিকে প্রবল তড়িৎ দ্বারা আহিত কর। স্বর্ণপত্রের কোন বিস্ফারণ হয় না। কেন? স্বর্ণপত্র ও টিনপাত একই বিভবে থাকে।

(খ) তড়িৎবীক্ষণকে মাটির উপর রাখ। চাকতিব সঙ্গে কোন আহিত পদার্থেব সাক্ষাৎভাবে যোগ কর। মাটির সঙ্গে সংযোগ থাকাতে টিনপাতের বিভবের শূন্য মান হয়। কিন্তু স্বর্ণপত্রেব বিভব ও আহিত পদার্থের বিভব সমান হয়। সুতরাং স্বর্ণপত্রেব বিস্ফারণ স্বর্ণপত্রের তথা আহিত পদার্থের বিভবের মাপ হয়।

(গ) **আধান-পরীক্ষকের দ্বারা আধান মাপ :** কোন পবিবাহীর কোন অংশের আধান মাপিতে আধান-পরীক্ষক দিয়া সেই অংশ স্পর্শ করিতে হয়। আধান-পরীক্ষক সেই অংশের আধান গ্রহণ করে। এইবার আধান-পরীক্ষককে চাকতি স্পর্শ করিয়া তড়িৎবীক্ষণে আধান স্থানান্তরিত করা হয়। সুতরাং বীক্ষণযন্ত্র পরীক্ষকের আধানের অনুসারে বিভব প্রাপ্ত হয় এবং বিস্ফারণের মাত্রা—আধানের মাপ।

দ্রষ্টব্য : বিভব মাপিতে হইলে আহিত পরিবাহীর সঙ্গে তড়িৎ-বীক্ষণের

চাকতির সাক্ষাৎ সংযোগ ঘটাইবে এবং পাটাতন (base) মাটির সহিত যুক্ত করিবে। আধান মাপিতে হইলে আধান-পরীক্ষক দ্বারাই আহিত পরিবাহী হইতে আধান তড়িৎবীক্ষণে স্থানান্তরিত করিবে।

৪৬। **সমবিভব তল** (Equipotential Surface) : যে তলের সর্ববিন্দুতে বিভব সমান থাকে তাহাকে **সমবিভব তল** বলে। এইরূপ তলে এক বিন্দু হইতে অপর বিন্দুতে কোন তড়িৎ প্রবাহিত হয় না এবং এক বিন্দু হইতে অপর বিন্দুতে আধান লইয়া যাইলে কোন কার্য হয় না। বলরেখা সমবিভব তলকে সর্বদাই অভিলম্বভাবে ছেদ করে। কোন তড়িৎ ক্ষেত্রে সম বিভবযুক্ত বিন্দুগুলিকে যোগ করিলে তলটি সমবিভব তল হয়। কোন পদার্থের চারিধারে অঙ্কিত গোলকগুলি (spheres) সব সমবিভব তল।

৪৭। **পরিবাহীর পৃষ্ঠ সমবিভব তল**। আমরা জানি + তড়িৎ সর্বদাই পরিবাহীর মধ্য দিয়া উচ্চ বিভব হইতে নিম্ন বিভবে প্রবাহিত হয় সুতরাং একই পরিবাহীর উপর পিঠে সর্বত্র এক বিভব হইবে কারণ দুই বিন্দুতে বিভিন্ন বিভব থাকিলে + আধান পরিবাহীর দেহের ভিতর দিয়া উচ্চ বিভব হইতে নিম্ন বিভবে প্রবাহিত হইবে যতক্ষণ উভয়ের বিভব সমান না হয়।

পরীক্ষা : A অন্তরিত হাতলের উপর একটি আহিত পরিবাহী C রাখ। একটি E আধান-পরীক্ষকের ধাতব চাকতি Pকে সরু ধাতব তার B দিয়া G তড়িৎ-বীক্ষণের D চাকতির সঙ্গে যোগ কর। এই অবস্থায় আধান-পরীক্ষকের E হাতল ধরিয়া C পরিবাহীর উপর পিঠে সর্ববিন্দুতে P চাকতিকে স্পর্শ করাও। দেখিবে স্বর্ণপত্রের বিস্ফারণ সর্ব বিন্দুতে সমান হয়। আমরা জানি স্বর্ণপত্রের বিস্ফারণ ∝ বিভব ∴ পরিবাহীর পৃষ্ঠের সর্ব বিন্দুতে বিভব সমান হয় যদিও সর্ব বিন্দুতে পৃষ্ঠ-ঘনাঙ্ক সমান হয় না

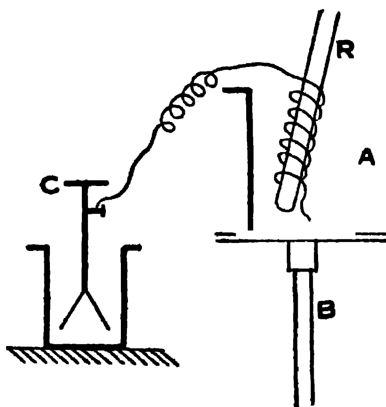
২৪ নং চিত্র

কারণ পরিবাহীর সরু দিকে (F) মোটা দিক (H) অপেক্ষা বেশী আধান থাকে। মনে রাখিবে আহিত অন্তরকের (insulator) উপর পৃষ্ঠের বিভিন্ন বিন্দুতে বিভব বিভিন্ন হয়।

৪৮। **ফাঁপা পরিবাহীর অভ্যন্তরে বিভব ঃ নীতি ঃ** আমরা পূর্বে দেখিয়াছি যে ফাঁপা আহিত পরিবাহীর অভ্যন্তরে কোন আধান থাকে না সুতরাং অভ্যন্তরে কোন বলরেখা থাকে না। এই কারণে যদি পরিবাহীর অভ্যন্তরে একটি আধানকে এক বিন্দু হইতে অন্য বিন্দুতে সরান যায় তবে কোন কার্য হয় না। সুতরাং ফাঁপা পরিবাহীর অভ্যন্তরে বিভিন্ন বিন্দুতে বিভবের কোন পার্থক্য থাকে না অর্থাৎ অভ্যন্তরে সর্ব বিন্দুতে বিভব সমান হয়। কারণ বিভবের পার্থক্য থাকিলেই কার্য হয়।

তিনটি বিষয় নিম্নলিখিত পরীক্ষা দ্বারা প্রমাণ হয় ঃ (ক) ফাঁপা পরিবাহীর অভ্যন্তরে কোন আধান থাকে না কিন্তু বিভব থাকে। (খ) অভ্যন্তরে এই বিভবের মান সর্বত্র সমান। (গ) ভিতরের বিভব = পাত্রের বিভব।

পরীক্ষা ঃ (ক) একটি গভীর ফাঁপা ধাতব পাত্র Aকে অন্তরিত B দণ্ডের উপর বসাও। A কে + আধানে আহিত কর। একটি কাচদণ্ড Rর চারিধারে দীর্ঘ সরু তারের এক প্রান্ত জড়াইয়া তারের অপর প্রান্ত অনাহিত তড়িৎবীক্ষণের চাকতি Cর সঙ্গে যোগ কর। তড়িৎ-বীক্ষণকে A পাত্র হইতে যথেষ্ট দূরে রাখ যাহাতে A পাত্রের আধান দ্বারা তড়িৎবীক্ষণের উপর কোন আবেশ না হয়।



২৫ নং চিত্র

A পাত্র ও তড়িৎবীক্ষণের মধ্যে মাটি সংলগ্ন ধাতব পর্দা রাখিলে এই উদ্দেশ্য ভাল ভাবে সাধিত হয়। তড়িৎবীক্ষণের টিনপাত মাটি সংলগ্ন থাকে

বলিয়া উহার বিভবের মান শূন্য হয়। তার স্পর্শ না করিয়া R দণ্ড ধরিয়া তারের প্রান্তকে A পাত্রের মধ্যে ধীরে ধীরে নামাও। স্বর্ণপত্র বিস্ফারিত হয় এবং বিস্ফারণের মাত্রা ক্রমশঃ বাড়িতে থাকে; (খ) A পাত্রের মধ্যে কিছুদূর নামাইলে বিস্ফারণের মাত্রা নির্দিষ্ট মানে আসে। এখন R দণ্ডকে A পাত্রের অভ্যন্তরে ফাঁপা জায়গায় বিভিন্ন স্থানে ধরিলে বিস্ফারণের কোন পার্থক্য হয় না।

সিদ্ধান্ত: (ক) পরীক্ষা প্রমাণ করে যে স্বর্ণপাত্র ও মাটি সংলগ্ন টিনপাতের মধ্যে বিভবের পার্থক্য = A পাত্রের অভ্যন্তরে তারের প্রান্তের বিভব কারণ টিনপাতের বিভব = O. অর্থাৎ Aর অভ্যন্তরে কোন আধান না থাকিলেও বিভব থাকে। (খ) পরীক্ষা প্রমাণ করে যে Aর অভ্যন্তরে সর্বত্র বিভব সমান হয়।

পরীক্ষা (গ): তারের প্রান্ত A পাত্রের ভিতর স্পর্শ করাইলে বিস্ফারণের মাত্রা প্রায় একই থাকে সুতরাং ফাঁপা জায়গায় বিভব = পাত্রের বিভব।

পরীক্ষা (ঘ): একটি ধাতব পাত্রের উপর তড়িৎবীক্ষণ রাখিয়া একটি লোহার তার জালির খাঁচা চাপা দাও যাহাতে তড়িৎবীক্ষণের পাটাতন (base) ধাতব পাত্রের সঙ্গে সংযুক্ত থাকে। খাঁচা এত বড় হওয়া দরকার যাহাতে খাঁচা ও তড়িৎবীক্ষণের যন্ত্রের মধ্যে অনেকখানি ফাঁক থাকে। সমস্ত যন্ত্রকে অন্তরিত দণ্ডে রাখ। খাঁচাকে যন্ত্র দ্বারা আহিত কর। স্বর্ণপত্রের বিস্ফারণ হয় না

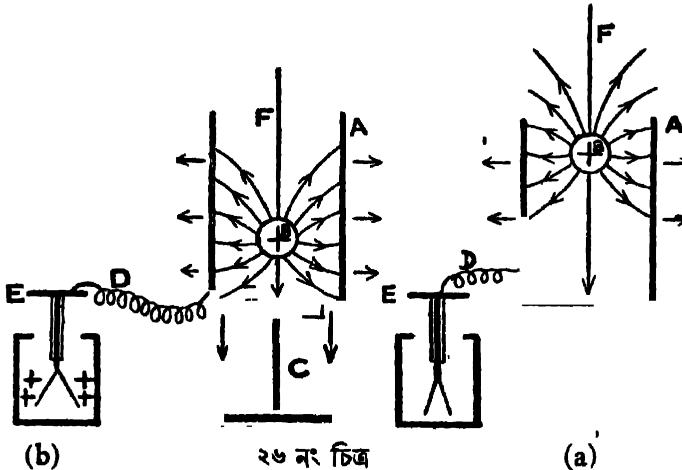
সিদ্ধান্ত: তড়িৎবীক্ষণের পাটাতন, টিনপাত ও খাঁচা একত্রে যুক্ত থাকাতে ইহারা একই বিভবে থাকে। চাকতি, স্বর্ণপত্র ও খাঁচার ভিতরের ফাঁকা জায়গায় বায়ু একই বিভবে থাকে। স্বর্ণপত্রের বিস্ফারণ না হওয়ায় ফাঁকা জায়গার বায়ুর বিভব = খাঁচার বিভব।

৪৯। ফ্যারাডের Ice-pail পরীক্ষা: সাধারণতঃ দেখা যায় আবেশ সৃষ্টিকারী (inducing) আধান আবিষ্ট (induced) আধানের চেয়ে বেশী হয়। কেন? আমরা জানি প্রত্যেক বলরেখার দুইপ্রান্তে সমান ও বিপরীত

আধান থাকে। একটি +আধানযুক্ত A পদার্থ BC অন্তরিত পরিবাহীর নিকট আনিলে A হইতে উদ্ভূত কতক বলরেখা BCর নিকট প্রান্ত Bতে পড়ে এবং কতক বলরেখা অন্যান্য নিকটবর্তি পদার্থ ও দেওয়ালে পড়ে। সুতরাং Aর আবেশ সৃষ্টিকারী আধান = B প্রান্তে আবিষ্ট আধান + অন্যান্য পদার্থে আবিষ্ট আধান ∴ Aর আবেশ সৃষ্টিকারী আধান > B প্রান্তে আবিষ্ট আধান।

এখন যদি আবিষ্ট BC পরিবাহীর আকার এমন করা যায় যে আবেশ সৃষ্টিকারী পদার্থ A সম্পূর্ণরূপে পরিবাহীর মধ্যে আবৃত থাকে তবে A হইতে উদ্ভূত সমস্ত বলরেখাই BC পরিবাহীর উপর পড়ে, সুতরাং এইরূপ ক্ষেত্রে **আবেশ সৃষ্টিকারী আধান = আবিষ্ট আধান।** ফ্যারাডে Ice-pail পরীক্ষা দ্বারা এই সত্য নির্ধারণ করেন। ফ্যারাডে বরফ আনার পাত্রকে (pail) পরিবাহী হিসাবে ব্যবহার করেন বলিয়া এই পরীক্ষাকে Ice-pail পরীক্ষা বলে।

পরীক্ষাঃ (ক) একটি ফাঁপা গভীর ধাতব A পাত্র অন্তরিত হাতল



(b) ২৬ নং চিত্র (a)

Cর উপর বসান আছে। ইহার বহির্ভাগ D তার দিয়া তড়িৎবীক্ষণের E চাকতির সঙ্গে যোগ করা আছে। একটি + আধানযুক্ত B বলকে অন্তরিত

রেশম সুতা F দ্বারা A পাত্রের অভ্যন্তরে ধীরে ধীরে সাবধানে নামাও যাহাতে বলটি পাত্রের গাত্র স্পর্শ না করে। মুক্ত + আবিষ্ট আধানের প্রভাবে স্বর্ণপত্র বিস্ফারিত হয়। বলটি যখন সম্পূর্ণরূপে পাত্রের ভিতর অবস্থিত হয় তখন বিস্ফারণ চরম মাত্রায় পৌছায়। বলকে আরও নামাইলে বিস্ফারণ বাড়ে না।

সিদ্ধান্ত : প্রথমে বল হইতে বহির্গত সমস্ত বলরেখা পাত্রের গায়ে শেষ হয় না। কতকগুলি বাহিরে পড়ে সেইজন্য বিস্ফারণ কম থাকে ২৬ নং চিত্র (a)। যখন বলটি সম্পূর্ণরূপে পাত্রের মধ্যে যায় (চিত্রে b) তখন সমস্ত বলরেখা পাত্রের গায়ে শেষ হয় সুতরাং পাত্রের ভিতর গাত্রে আবিষ্ট আধান চরম হয় এবং বিস্ফারণও চরম হয়।

পরীক্ষা (খ) : এই বলকে সম্পূর্ণরূপে পাত্রের ভিতর ধরিয়া পাত্রের গাত্র স্পর্শ না করিয়া এপাশ-ওপাশ ঘুরাইলে বিস্ফারণের মাত্রার পরিবর্তন হয় না।

সিদ্ধান্ত : ফাঁপা পরিবাহীর বাহির তলে চরম আবিষ্ট আধানের পরিমাণ পরিবাহীর ভিতরে আবেশকারী আধানের অবস্থানের উপর নির্ভর করে না।

পরীক্ষা (গ) : আধান-পরীক্ষক দিয়া পাত্রের ভিতর ও বাহির গাত্রের আধান পরীক্ষা করিলে ভিতর গাত্রে +-আধান ও বাহির গাত্রে – আধানের উপস্থিতির প্রমাণ পাওয়া যায়। বলকে সরাইলে স্বর্ণপত্র নিমীলিত হয়।

সিদ্ধান্ত : ভিতরে ও বাহিরে আবিষ্ট আধান বিপরীত ধর্মী কিন্তু সমপরিমাণ। পাত্রের ভিতর দিকে আবেশকারী আধানের বিপরীত আধান এবং বাহির গাত্রে সম আধান উৎপন্ন হয়।

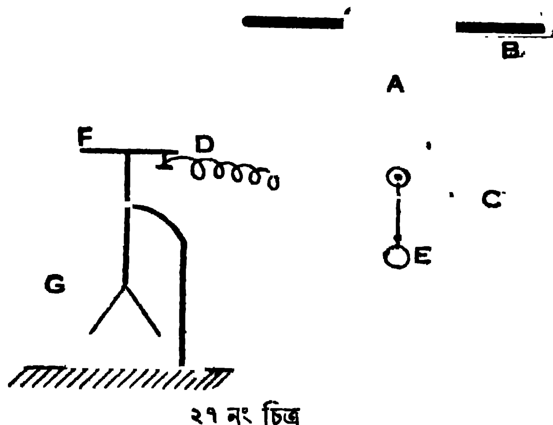
পরীক্ষা (ঘ) : A পাত্রের মধ্যে আহিত বল Bকে নামাও। স্বর্ণপাত্র আবিষ্ট +-আধানে বিস্ফারিত হয়। বল দিয়া পাত্রের তলদেশ **স্পর্শ কর**। স্বর্ণপত্রের বিস্ফারণের মাত্রার পরিবর্তন হয় না। বলকে সরাইয়া লও। এবারও স্বর্ণপত্রের বিস্ফারণের মাত্রার কোন পরিবর্তন হয় না। বলকে পরীক্ষা করিলে দেখা যায় উহার তড়িৎ মোক্ষিত হইয়াছে।

সিদ্ধান্ত: পাত্রের তলদেশ স্পর্শ করিবার পর বল তড়িৎহীন হয়, সুতরাং বলের + আধান ভিতর পাত্রের আবিষ্ট সমপরিমাণ − আধান দ্বারা প্রশমিত হয়। আবেশকারী আধান অপেক্ষা আবিষ্ট আধান বেশী হইতে পারে কিংবা সমান হইতে পারে কিন্তু ইহা বেশী হইলে প্রশমনের পর অতিরিক্ত আধান স্বর্ণপত্রের বিস্ফারণ কমাইত কিন্তু সম্পূর্ণ নিমীলিত করিতে পারিত না। সুতরাং আবেশকারী আধান = আবিষ্ট আধান।

পরীক্ষা (ঙ): + আধানযুক্ত বলকে পাত্রে নামাও। স্বর্ণপত্র + আধানে বিস্ফারিত হয়। পাত্রের বহির্ভাগ স্পর্শ কর। মাটি হইতে ইলেক্ট্রোন আসিয়া মুক্ত + আধানকে প্রশমিত করে। স্বর্ণপত্র নিমীলিত হয়। বলকে সরাও। স্বর্ণপত্র পুনরায় সমপরিমাণে বিস্ফারিত হয়। এবার স্বর্ণপত্র − আধানে বিস্ফারিত হয়। পুনরায় আহিত বলকে পাত্রের ভিতর গাত্র স্পর্শ করাও। স্বর্ণপত্র নিমীলিত হয় এবং সমস্ত যন্ত্র তড়িৎ উদাসীন হয়।

সিদ্ধান্ত: আবিষ্ট + আধান = আবিষ্ট − আধান = আবেশ সৃষ্টিকারী + আধান।

৫০। **পরিবাহীর বিভব** কয়েকটি বিষয়ের উপর নির্ভর করে যথা:—



২৭ নং চিত্র

(ক) আধানের পরিমাণ: পরিবাহীর আধান কমাইলে বা বাড়াইলে বিভবও কমে বা বাড়ে।

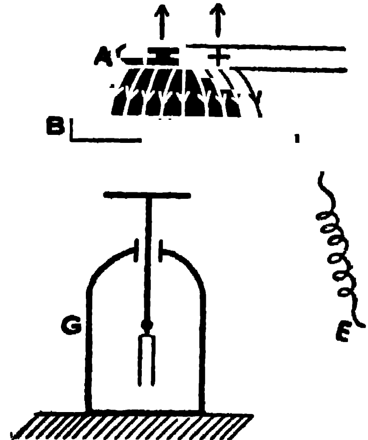
(খ) পরিবাহীর আকার : আধানকে নির্দিষ্ট রাখিয়া তলের ক্ষেত্রফল বাড়াইলে বিভব কমে।

পরীক্ষা : A পাতলা টিনেরপাতের একপ্রান্ত শুষ্ক B কাচদণ্ডের সঙ্গে জড়াও এবং অপর প্রান্ত C কাষ্ঠদণ্ডের সঙ্গে জড়াও। E তার দিয়া পাতকে সটান রাখ। পাতকে D তার দিয়া G তড়িৎ-বীক্ষণের সঙ্গে যুক্ত কর। খোলা A পাতকে আহিত কর। স্বর্ণপত্রের বিস্ফারণ দেখ। B দণ্ড ঘুরাইয়া পাতকে আস্তে আস্তে গুটাও। স্বর্ণপত্রের বিস্ফারণ বাড়িয়া যায় অর্থাৎ পাতের ক্ষেত্রফল যত কমে বিভব তত বাড়ে।

(গ) নিকটস্থ অন্য পরিবাহীর প্রভাবে বিভব কমিয়া যায়।

(ঘ) পরিবাহীর চতুর্দিকে মাধ্যমের (dielectric) প্রকৃতি বিভবেব তারতম্য ঘটায়।

৫১। **তড়িৎ পর্দা** (Electric Screen) **:** আমরা পূর্বে দেখিয়াছি ফাঁপা পরিবাহীর অভ্যন্তরের জায়গার বিভব সর্বত্র সমান এবং পরিবাহীর বিভবের সঙ্গে সমান। অতএব বাহিরে তড়িৎ ক্ষেত্র যতই শক্তিশালী হউক ভিতরের ফাঁপা জায়গায় কোন বলরেখা থাকে না অর্থাৎ কোন তড়িৎ বলের ক্রিয়া হয় না। খাঁচার মধ্যে তড়িৎবীক্ষণ রাখিলে এবং বাহিরে কোন আহিত পদার্থ আনিলে স্বর্ণপত্র বিস্ফারিত হয় না। ফ্যারাডে নিজে বৃহৎ ধাতব তারের খাঁচার মধ্যে ঢুকিয়া বাহির হইতে খাঁচাকে খুব শক্তিশালী আধানে আহিত করেন। তিনি নিরাপদে ভিতরে তড়িৎ যন্ত্রের পরীক্ষা করেন।



২৮ নং চিত্র

সম্মুখে একটি মাটি সংলগ্ন মোটা ধাতব B পাত রাখা যায় তবে পাতের নীচের

দিকের জায়গা তড়িৎ প্রভাব শূন্য হয়। এখানে G তড়িৎবীক্ষণ রাখিলে স্বর্ণপত্রের বিস্ফারণ হইবে না।

৫২। চৌম্বক ও তড়িতের ঘটনার তুলনা : (ক) লোহা ও চুম্বক ঘর্ষণ করিলে লোহা কৃত্রিম চুম্বকে পরিণত হয়। দুইটি বিভিন্ন পদার্থ ঘর্ষণ করিলে দুই পদার্থেই বিপরীত তড়িৎ উৎপন্ন হয়। (খ) চুম্বকত্ব প্রায় দুই মেরুতে আবদ্ধ থাকে। তড়িৎ পরিবাহীর সর্বত্র ছড়াইয়া পড়ে। তবে যেখানে বক্রতা বেশী সেখানে বেশী তড়িৎ জমা হয়। (গ) আকর্ষণ ও বিকর্ষণের নিয়ম দুই ক্ষেত্রেই এক। (ঘ) চুম্বক কেবল চৌম্বক পদার্থ আকর্ষণ করে। আহিত পদার্থ হাল্কা যে কোন. পদার্থ আকর্ষণ করে। (ঙ) চুম্বক উত্তর-দক্ষিণ দিক নির্দেশ করে। আহিত পদার্থ এইরূপ করে না। (চ) প্রত্যেক চুম্বকের দুই প্রকার চুম্বকত্ব থাকে। আহিত পদার্থের এক প্রকার আধান থাকে। চুম্বককে ভাঙিলে দুই প্রকার চুম্বকত্ব পৃথক করা যায় না। + ও – আধান পৃথক করা যায়। (ছ) চুম্বকিত পদার্থ স্পর্শ করিলে চুম্বকত্ব অন্তর্হিত হয় না। তড়িতাহিত পদার্থ স্পর্শ করিলে তড়িৎ মোক্ষিত হয়। (জ) উভয় ক্ষেত্রেই আবেশের সময় আবিষ্ট পদার্থের দূরপ্রান্তে সমমেরু বা সমআধান এবং নিকট প্রান্তে বিপরীত মেরু বা আধান উৎপন্ন হয়।

অঙ্ক। A hollow spherical conductor whose radius is one decimetre is charged with 10 units of electricity. Find the potential (a) at the surface of the sphere, (b) inside it and (c) at a point 25 cms from the centre (C. U. 1934)

(a) বিভব $V = \frac{Q}{r} = \frac{১০}{১০} = ১$ E. U. S

(b) বাহিরের বিভবের সমান অর্থাৎ ১ E. U. S

(c) $V = \frac{Q}{r} = \frac{১০}{২৫} = ·৪$ E. S. U.

2. Find the work done when a charge of—5 units is

removed from any point A, at a distance of 5 cms. to another point B, at a distance of 20 cms from a charge of 80 units.

A তে বিভব $Va = \frac{৮০}{৫} = ১৬$, B তে বিভব $V_b = \frac{৮০}{২০} = ৪$

বিভবের পার্থক্য = ১৬ − ৪ = ১২

∴ −৫ একক আধান সরাইতে কার্য = ১২ × −৫ = −৬০ আর্গ কার্য ঋণাত্মক।

প্রশ্ন : Give examples of bodies (a) with no charge but negative potential, (b) with a positive charge at zero potential, (c) with a negative charge but a positive potential (A. U. 1936).

উত্তর : (a) একটি পরিবাহী A কে তড়িৎবীক্ষণ Bর সহিত যোগ কর। এখন পরিবাহীতে কোন আধান থাকে না। অন্য একটি − আধানযুক্ত অন্তরিত পরিবাহী A পরিবাহীর নিকটে আন। স্বর্ণপত্র −আধানযুক্ত হইয়া বিস্ফারিত হয়। A পরিবাহী—বিভবযুক্ত হয় যদিও ইহাতে কোন আধান দেওয়া হয় না। (b) + আধানযুক্ত A পরিবাহী তড়িৎবীক্ষণের সঙ্গে যোগ কর। স্বর্ণপত্র বিস্ফারিত হয়। Aর নিকট একটি − আধানযুক্ত পদার্থ আন। স্বর্ণপত্র নিমীলিত হয়। যদিও A তে + আধান আছে কিন্তু ইহার বিভব শূন্য মানে নামে। (c) −আধানযুক্ত পরিবাহী A কে তড়িৎবীক্ষণের সঙ্গে যোগ কর। স্বর্ণপত্র মুক্ত আধানের জন্য বিস্ফারিত হয়। একটি পদার্থকে A পরিবাহীর −আধানের চেয়ে বেশী + আধানযুক্ত করিয়া কিছুদূর হইতে ধীরে ধীরে A পরিবাহীর নিকট লইয়া যাও। বিস্ফারণ কমিতে কমিতে শূন্য মানে নামে। তখন পরিবাহীর −আধান পদার্থের + আধান দ্বারা প্রশমিত হয়। পদার্থকে পরিবাহীর আরও নিকটে আনিতে থাকিলে স্বর্ণপত্র পুনরায় বিস্ফারিত হইতে আরম্ভ করে। কিন্তু এবার মুক্ত + আধানের জন্য বিস্ফারিত হয়। এখানে পরিবাহীর বিভব + হয় কিন্তু আধান − হয়।

প্রশ্ন

1. State the laws of action between charges. A and B are two small spheres charged with +9 and + 16 units of electricity. The distance between them is 28 cms. How far from A along the line AB will the intensities due to the charges be equal ? (C. U. 1947)

2. Explain clearly the meaning of an electric line of force. How does it differ from a magnetic line of force ? (P. U. 1936)

3. State carefully Coulomb's law of force between electric charges and hence show how the idea of an electrostatic unit of charge is derived. (Pat. 1944 ; cf. All. 45)

4. Define "Electric Field at a point". A, B and C are the three corners of an equilateral triangle whose sides are each 5 cms. in length. Two point charges of +100 and −100 e. s. units are placed at A and B respectively. Find the direction and magnitude of the resultant electric field at C. (All 1946)

5. What do you mean by potential of a conductor ? (C. U. 1920, '26, '31 ; Pat. 1928, '43, '48)

6. Prove that the electric potential at a point due to a charge concentrated at a point is inversely proportional to the distance from the centre. (cf Pat 1939)

7. A hollow spherical conductor, whose radius is one decimetre, is charged with 10 units of electricity. Find the potential (a) at the surface of the sphere, (b) at a point 25 cms. distant from the centre. (C. U. 1934)

8. Obtain the value of the potential at a point due to a single electric charge +q at a distance from it. (C. U. 1934 ; Pat 1948)

9. ABCD is a sq. of 20 cms. side. Positive charges 6, 12 and 24 e. s, units are placed at the points A, B and C. Calculate

the work required to transfer a unit positive charge from D to the centre of the square. (Pat. 1946)

10. You are given an insulated charged hollow pear-shaped conductor in which a hole has been drilled at the top. How would you proceed to investigate (i) the surface density of the charge on (a) the outside, (b) the inside surfaces of conductor, (iii) the potential of (a) the outside, (b) the inside surfaces ? What results would you expect ? Give your reasons. (Pat 1924 : Cf. C. U. 1917.)

11. Describe experiments to show that the potential is the same throughout the whole space in the interior of a hollow charged conductor, and that it is the same as that of the conductor itself. (Pat. 1948)

12. Describe an experiment to show that the surface of an electrified conductor is an equipotential surface.
(C. U. 1926 ; Cf. Pat 39)

13. An electroscope is surrounded by a cylinder of wire-gauge which is put to earth. If an electrified body is brought near to it, how will the leaves behave ?

ধারকত্ব (Capacity) ও ঘনীকারক (Condensers)

৫৩। ধারকত্ব ও বিভব : তাপ দিলে যেমন উষ্ণতা বাড়ে তেমন তড়িৎ আধান দিলে বিভব বাড়ে। 1° C উষ্ণতা-বৃদ্ধির জন্য যেমন বিভিন্ন পদার্থ বিভিন্ন পরিমাণ তাপ গ্রহণ করে তেমন ১ একক বিভব-বৃদ্ধির জন্য বিভিন্ন পরিবাহী বিভিন্ন পরিমাণ আধান গ্রহণ করে। যদি Q আধান কোন পরিবাহীর বিভব V পরিমাণ বৃদ্ধি করে তবে $Q \propto V$ বা $Q = C \times V$; এখানে C = ধ্রুবক। ইহা পরিবাহীর আকৃতি, প্রকৃতি, আয়তন ও মাধ্যমের উপর নির্ভর করে। এই ধ্রুবককে **ধারকত্ব** বলে। $C = \frac{Q}{V}$ ∴ ধারকত্ব

$=\frac{\text{আধান}}{\text{বিভব}}$; ('ধারকত্ব' অর্থে ধারণ করিবার ক্ষমতাকে বুঝায়, এখানে "তড়িৎ ধারকত্ব" অর্থে তড়িৎ ধারণ করিবার ক্ষমতাকে বুঝাইতেছে।)

যদি V = ১ হয় তবে Q = C অর্থাৎ এক একক বিভব বাড়াইতে যে আধান দরকার তাহাকে তড়িৎ **ধারকত্ব** বলে।

দ্রষ্টব্য : কোন জলপাত্রে ১ ফুট জল-তল (surface) তুলিতে যে জলের দরকার হয় তাহাকে পাত্রের জল-ধারকত্ব বলে। পদার্থের ১°c উষ্ণতা বাড়াইতে যে তাপ দরকার তাহাকে পদার্থের তাপ-ধারকত্ব বলে।

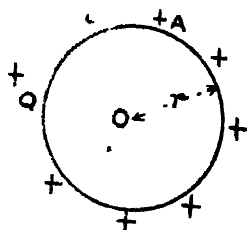
৫৪। **ধারকত্বের একক** (Unit of capacity) : $C=\frac{Q}{V}$; এই সমীকরণে যদি V = ১, Q = ১ হয় তবে C = ১ হইবে। অর্থাৎ এক একক আধান কোন পরিবাহীর এক একক বিভব বাড়াইলে পরিবাহীর ধারকত্বকে **একক ধারকত্ব** বলে। কার্যকরী এককে **ফ্যারাড** (Farad) বলে। এক কুলম্ আধান কোন পরিবাহীর বিভব এক ভোল্ট বাড়াইলে পরিবাহীর ধারকত্বকে এক ফ্যারাড বলে। ∴ ১ ফ্যারাড = ৯ × ১০^{১১} e.s একক। ফ্যারাড খুব বড একক।

পরীক্ষাগারে ফ্যারাডের ১০$^{-৬}$ ভাগকে একক ধরা হয়। ইহাকে **মাক্রো ফ্যারাড** (micro farad) বলে। ∴ মাক্রো ফ্যারাড = ১০$^{-৬}$ ফ্যা: = ৯ × ১০^{৫} e. s একক

৫৫। **পরিবাহীর ধারকত্ব পরিবর্তনের কারণ :** $C\propto\frac{1}{V}$ যদি Q সমান থাকে। সুতরাং যে কারণে বিভবের পরিবর্তন হয় সেই কারণে ধারকত্বের পরিবর্তন হয়। যথা :— (ক) পরিবাহীর আকার বাড়াইলে বিভব কমে ; ধারকত্ব বাড়ে। (খ) অন্য পরিবাহীর উপস্থিতিতে কোন পরিবাহীর বিভব কমে, ধারকত্ব বাড়ে। (গ) বায়ু ব্যতীত অন্য মাধ্যমে (dielectric) বিভব কমে, ধারকত্ব বাড়ে।

৫৫। **গোলকের ধারকত্ব** (Capacity of a Sphere) : মনে কর r ব্যাসার্ধ বিশিষ্ট A গোলকে Q একক আধান আছে। মনে কর ইহা অন্য আহিত

পদার্থের প্রভাব হইতে দূরে আছে। আধান গোলকের সর্ব বিন্দুতে সমভাবে বিস্তৃত হইয়া পড়ে। গোলকের উপরতল হইতে বলরেখা সমভাবে চারিদিকে সরলরেখা ক্রমে ছড়াইয়া পড়ে এবং বলরেখাগুলি তড়িৎ ক্ষেত্র সৃষ্টি করে। এই রেখাগুলিকে পশ্চাৎ-দিকে বর্ধিত করিলে গোলকের কেন্দ্রে মিলিত হয়। সুতরাং আহিত গোলক গোলকের বাহিরে অবস্থিত সকল বিন্দুর সম্পর্কে এমনভাবে ক্রিয়া করে যেন সকল আধান কেন্দ্র Oতে কেন্দ্রীভূত আছে।



২৯ নং চিত্র

$\therefore$ গোলকের উপর কোন বিন্দুতে বিভব $V = \frac{Q}{r}$

কিন্তু ধারকত্ব $C = \frac{Q}{V}$ or $V = \frac{Q}{C}$ $\therefore \frac{Q}{r} = \frac{Q}{r}$ $\therefore C = r$.

সুতরাং নিকটে অন্য কোন আহিত দ্রব্য না থাকিলে e. s এককে প্রকাশিত কোন গোলকের ধারকত্ব ও সেণ্টিমিটারে প্রকাশিত ব্যাসার্ধ সংখ্যায় একই হয়। যখন r = ১ তখন C = ১ e. s. u. সুতরাং ১ সেণ্টিমিটার ব্যাসার্ধের গোলকের ধারকত্ব = ১ e. s. u. "ধারকত্ব x সেঃ মিঃ" এর অর্থ x সেঃ মিঃ ব্যাসার্ধের গোলকের ধারকত্ব বুঝায়। ১ ইঞ্চি ব্যাসার্ধ বিশিষ্ট গোলকের ধারকত্ব = '০০০০০২৮ ম্যাক্রো ফ্যারাড।

৫৬। আহিত গোলকের পৃষ্ঠ-ঘনাঙ্ক (Surface Density of a Charged Sphere): মনে কর A ও B দুইটি সমভাবে আহিত গোলক। মনে কর A ও Bর আধান, ব্যাসার্ধ, ধারকত্ব যথাক্রমে Q_1 ও Q_2, r_1 ও r_2, C_1 ও C_2। মনে কর উহাদের দূরে রাখিয়া সরু তার দিয়া যোগ করা হইয়াছে। মনে কর উহাদের বিভব = V. $\therefore Q_1 = C_1V$, $Q_2 = C_2V$. $\therefore Q_1 : Q_2 : C_1 : C_2 = r_1 : r_2$. $\therefore$ আধান $\propto$ ব্যাসার্ধ.

আমরা জানি পৃষ্ঠ-ঘনাঙ্ক $=\frac{Q}{4\pi r^2}$ $\therefore \rho_1 : \rho_2 = \frac{Q_1}{4\pi r_1^2} : \frac{Q_2}{4\pi r_2}$

$$=\frac{r_1}{r_1^2} : \frac{r_2}{r_2^2} = r_2 : r_1$$

সুতরাং পৃষ্ঠ-ঘনাঙ্ক ও ব্যাসার্ধ ব্যস্তানুপাতে পরিবর্তিত হয়।

৫৭। **আধানের বণ্টন** (Distribution of Charges) : মনে কর A ও B দুইটি অনাহিত পরিবাহীর ধারকত্ব যথাক্রমে C_1 ও C হয়। মনে কর উহাদের পৃথকভাবে q_1 ও q আধান দেওয়া হইল। যদি উহাদের বিভব যথাক্রমে V_1 ও V_2 হয় তবে $V_1=\frac{q_1}{C_1}$, $V_2=\frac{q}{C}$

A ও B তার দিয়া যোগ কর, A ও Bর উভযের বিভব সমান হয় এবং আধান পুনর্বণ্টিত হয়।

মনে কর সাধারণ বিভব $=V$, মোট আধান $Q=q_1+q$. মনে কর সংযোগ হওয়ার পর Aর আধান $=q'$ ও B র আধান $=q''$ হয়। যেহেতু সংযোগের পর কোন আধান নষ্ট হয় না সুতবাং $q'+q''=Q$

$$\therefore \quad V=\frac{q'}{C_1}=\frac{q''}{C}=\frac{q'+q''}{C_1+C}=\frac{Q}{C_1+C}$$

$$\therefore \quad q'=Q.\frac{C_1}{C_1+C}\,;\, q''=Q\frac{C}{C_1+C}$$

মনে কর A এর বিভব $V_1 >$ Bর বিভব V_2 $\therefore \frac{q_1}{C_1} > \frac{q}{C}$

$\therefore$ q_1-q' আধান A হইতে Bতে যাইবে, এবং B এর অতিরিক্ত আধান $=q''-q$.

যদি B কে মাটির সঙ্গে সংযুক্ত করা যায় তবে C_1 এর তুলনায় C খুব বেশী হইবে। সাধারণ V প্রায় O শূন্য হয় এবং $q''=Q$ হয়। সেইজন্য পৃথিবীর বিভবকে শূন্য ধরা হয়, এবং আহিত পদার্থ মাটি সংলগ্ন হইলে আধান শূন্য হয়।

যদি দুইটি পরিবাহী r_1 ও r ব্যাসার্ধ বিশিষ্ট গোলক হয় তবে q' $=Q\frac{r_1}{r_1+r}$ $q''=Q\frac{r}{r^1+r}$

৫৮। কতকগুলি সংযুক্ত পরিবাহী: মনে কর C_1 C_2 C_3… ধারকত্ব বিশিষ্ট ও V_1 V_2 V_3…প্রাথমিক বিভব বিশিষ্ট কতকগুলি পরিবাহী একত্রে তার দিয়া সংযুক্ত হইলে উহাদের সাধারণ বিভব V হইল। উহাদের প্রাথমিক আধান যথাক্রমে $= C_1V_1, C_2V_2, C_3V_3$

∴ মোট প্রাথমিক আধান $= C_1V_1 + C_2V_2 + C_3V_3 + \quad \dots \quad \dots$

সংযোগের পর মোট আধান $= C_1V + C_2V + C_3V + \dots$

সংযোগের পূর্বে ও পরে মোট আধান একই থাকে।

$$\therefore \quad (C_1 + C_2 + C_3 + \cdots)V = C_1V_1 + C_2V_2 + C_3V_3 + \quad \dots\dots$$

$$\therefore \quad V = \frac{C_1V_1 + C_2V_2 + C_3V_3 + }{C_1 + C_2 + C_3 + -} = \frac{\text{মোট আধান}}{\text{মোট ধারকত্ব}}$$

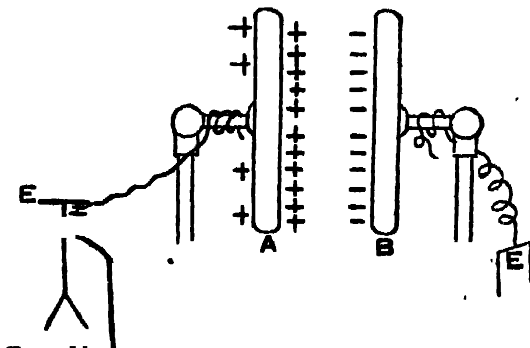
∴ কোন পরিবাহীর আধান = ধাবকত্ব × সাধারণ বিভব,

৫৯। তড়িৎ ঘনীকারক (Electrical Condenser) **: সংগা:** যে যান্ত্রিক ব্যবস্থায় কোন পরিবাহীর ধারকত্ব কৃত্রিম উপায়ে বৃদ্ধি করা যায় অর্থাৎ তড়িৎ ধাবণ করিবার ক্ষমতাকে বৃদ্ধি করা যায় তাহাকে **তড়িৎ ঘনীকারক** বলে। 'ঘনীকারক' অর্থ যাহা ঘন করে অর্থাৎ যাহাতে তড়িৎ বেশী জমে।

নীতি: আমরা দেখিয়াছি যে একটি আহিত পরিবাহী Aর নিকটে অন্য অনাহিত পবিবাহী B আনিলে Aর বিভব কমিয়া যায় এবং ধারকত্ব বাড়িয়া যায়। সুতরাং Aর অতিরিক্ত আধান গ্রহণ করিবার ক্ষমতা বাড়িয়া যায়। সাধারণতঃ B কে মাটি সংলগ্ন করিয়া Aর ধারকত্ব খুব বাড়ান হয়।

নীতির পরীক্ষা: অন্তরিত ধাতব পাত Aকে তড়িৎ যন্ত্রের সঙ্গে যুক্ত করিয়া পূর্ণমাত্রায় + আধানে আহিত কর। মনে কর ইহার বিভব = +V। Aর নিকট অপর একটি অনাহিত ধাতব পাত B আন। Aর + আধানের আবেশের জন্য Bর নিকট প্রান্তে আবিষ্ট – আধানের ও দূর প্রান্তে আবিষ্ট + আধানের উৎপত্তি হয়। আবিষ্ট – আধানের জন্য A ঋণাত্মক বিভব প্রাপ্ত হয় এবং আবিষ্ট + আধানের জন্য A ধনাত্মক

বিভব প্রাপ্ত হয়। কিন্তু Bর + আধান অপেক্ষা − আধান Aর নিকটতম হওয়ায় আবিষ্ট ঋণাত্মক বিভব মোটের উপর বেশী হয় সুতরাং Aর



৩০ নং চিত্র

প্রাথমিক ধনাত্মক বিভব কমিয়া যায় সুতরাং Aর ধারকত্ব বাড়িয়া যায় কারণ $C = \frac{Q}{r}$। A যন্ত্র হইতে আরও আধান লইতে পারে যতক্ষণ Aর বিভব পূর্ব মান V তে না আসে।

এখন Bকে মাটি সংলগ্ন করিলে মুক্ত + আধান মাটিতে চলিয়া যায়। আবিষ্ট +আধানের অভাবে Bর বদ্ধ −আধানের জন্য Aতে উৎপন্ন আবিষ্ট − বিভব খুব বাড়িয়া যায় সুতরাং Aর প্রাথমিক +বিভব খুব কমিয়া যায়। সুতরাং Aর ধারকত্ব খুব বাড়িয়া যায়। A যন্ত্র হইতে অনেক +আধান লইতে সক্ষম হয়। এই অতিরিক্ত আধানের জন্য Bর নিকট প্রান্তে আবিষ্ট −আধান আরও বাড়িয়া যায়। আবার A বিভব কমিয়া যায় A আরও আধান লইতে সক্ষম হয়। এইরূপ চলে।

সুতরাং মাটি সংলগ্ন B পরিবাহীর উপস্থিতিতে A পরিবাহীর ধারকত্ব বাড়িয়া যায় এবং ইহা অধিক পরিমাণে তড়িৎ ধারণ করিতে সক্ষম হয়।

৬০। **ঘনীকারকের আকৃতি:** দুইটি ধাতব পাত যদি মুখোমুখি সমান্তরাল থাকে এবং দুইটির মধ্যে দূরত্ব উহাদের ক্ষেত্রফলের তুলনায় কম হয় তখন পাতের সমবায়কে **সমান্তরাল-পাত-ঘনীকারক** (Parallel

Plate Condenser) বলে। দুইটি বিভিন্ন ব্যাসার্ধ বিশিষ্ট সমকেন্দ্রিক গোলকের মাঝখানের জায়গায় কোন অন্তরক মাধ্যম থাকিলে গোলকের সমবায়কে **গোলীয় ঘনীকারক** (Spherical Condenser) বলে।

৬১। **ঘনীকারকের ধারকত্ব** (Capacity of a Condenser) : ঘনীকারকের প্রত্যেক পরিবাহীকে **আবরণ** (coating) বলে। 'A পরিবাহীকে সংগ্রাহক (collecting) আবরণ ও B পরিবাহীকে ঘনীকারক (condensing) আবরণ বলে। ঘনীকারকের দুই আবরণের মধ্যে এক একক বিভবের পার্থক্য উৎপন্ন করিতে যে আধানের প্রয়োজন হয় তাহাকে **ঘনাকারকের ধারেকত্ব** বলে। যদি A ও B আবরণের বিভব V ও V_b হয় এবং V > V হয় এবং A আবরণের আধান Q হয় তবে ঘনীকারকের

ধারকত্ব $C = \frac{Q}{V_a - V_b}$

কার্যত যদি ১ কুলম আধান দুই আবরণেব মধ্যে এক ভোল্ট বিভব পার্থক্য উৎপন্ন করে তবে ঘনীকারকের ধারকত্ব ১ ফ্যারাড হয়। যদি B আবরণকে মাটি সংলগ্ন করা যায় তবে $V_b = O$ এবং $C = \frac{Q}{V_a}$ অর্থাৎ A আবরণের একক বিভব বাড়াইতে যে আধান দরকার তাহাই সমস্ত ঘনীকারকের ধারকত্ব। এই ক্ষেত্রে সংগ্রাহক A আবরণের ও সমস্ত ঘনীকারকের ধারকত্ব সংখ্যায় সমান হয়।

৬২। **ঘনীকারকের ধারকত্ব পরিবর্তনের কারণ :** পরিবাহীর মত ঘনীকারকের ধারকত্ব নিম্নলিখিত বিষয়ের উপর নির্ভর করে : যথা

(ক) **ক্ষেত্রফল :** আবরণের ক্ষেত্রফল বাড়াইলে ধারকত্ব বাড়ে।

পরীক্ষা : (১) A পরিবাহীকে তড়িৎবীক্ষণের সঙ্গে যোগ কর। A কে আহিত কর। স্বর্ণপত্র বিস্ফারিত হয়। B পরিবাহীকে Aর নিকটে লইয়া আন। বিস্ফারণের মাত্রা কমে অর্থাৎ বিভব কমে, ধারকত্ব বাড়ে। B পরিবাহীর স্থলে দ্বিগুণ বড় C পরিবাহী রাখ। বিস্ফারণের মাত্রা আরও

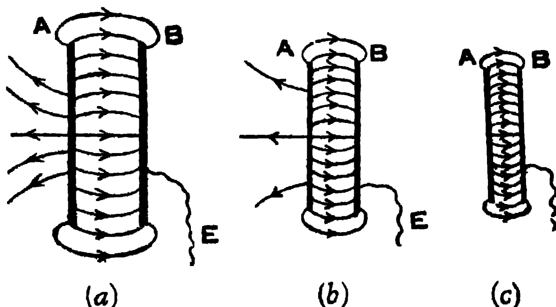
কমে অর্থাৎ ধারকত্ব বাড়িয়া যায়। প্রত্যেক ক্ষেত্রে Aর উপর আধান অপরিবর্তিত থাকে। ক্ষেত্রফল বাড়াইলে ধারকত্ব বাড়ে।

(খ) Bকে মাটি সংলগ্ন কর। বিস্ফারণের মাত্রা আরও কমে। ধারকত্ব আরও বাড়ে। সুতরাং মাটি সংলগ্ন পরিবাহীর উপস্থিতিতে ধারকত্ব বাড়ে।

(গ) **দূরত্ব :** দুই আবরণের মধ্যে দূরত্ব বাড়িলে ধারকত্ব কমে, দূরত্ব কমিলে ধারকত্ব বাড়ে। Bকে Aর নিকট লইয়া যাও, স্বর্ণপত্রের বিস্ফারণ কমিয়া যায় সুতরাং ধারকত্ব বাড়িয়া যায়। Bকে দূরে লইয়া যাও। বিস্ফারণ বাড়িয়া যায় সুতরাং ধারকত্ব কমিয়া যায়।

(ঘ) **মাধ্যম :** ধারকত্ব দুই পাতের মধ্যস্থ মাধ্যম dielectric এর উপর নির্ভর করে। A ও B কে নির্দিষ্ট স্থানে রাখিয়া উহাদের মধ্যে পর পর কাচ, ইবোনাইট ও গালার পাত রাখ। প্রত্যেক ক্ষেত্রে বিস্ফারণের মাত্রা পৃথক প্যারাফিন, হয়। সুতরাং মাধ্যম পরিবর্তন করিলে ধারকত্ব পরিবর্তিত হয়।

৬৩। সমান্তরাল পাত-ঘনীকারকের ধারকত্ব (Capacity of a parallel condenser) : মনে কর A ও B পাতের ক্ষেত্রফল সমান এবং আধান সমান ও বিপরীত। ধনাত্মক আধানযুক্ত A পাত হইতে বলরেখা উত্থিত হইয়া ঋণাত্মক আধানযুক্ত B পাতে শেষ হয়। দুই



(a) (b) (c)

৩১ নং চিত্র—দুই আবরণের মধ্যস্থিত বলরেখা

পাতের ঠিক মধ্যের বলরেখাগুলি সরল হয় কিন্তু বলরেখার পার্শ্বচাপের জন্য পাতের প্রান্তস্থিত কয়েকটি বলরেখা বাঁকিয়া যায়। যদি দুই পাতের মধ্যের দূরত্ব পাতের ক্ষেত্রফলের তুলনায় খুব কম হয় তবে খুব কম বলরেখা

বাঁকিয়া যায়, প্রায় সব বলরেখা A হইতে সরল রেখাক্রমে Bতে শেষ হয় (৩১ নং চিত্র (c))। এই ক্ষেত্রে দুই পাতের মধ্যে তড়িৎ ক্ষেত্র প্রায় সমবলের (uniform) হয়।

মনে কর A ও B এর ক্ষেত্রফল = A ঘঃ সেঃ মিঃ, A ও B র দূরত্ব = d সেঃ মিঃ, Aর উপর আধান = Q একক, Aর পৃষ্ঠঘনাঙ্ক $\rho = \frac{Q}{A}$ একক আধান প্রতি বঃ সেঃ মিঃ।

প্রত্যেক একক আধান হইতে একটি বলনল বাহির হয়। আমরা জানি একটি বলনল হইতে 4π বলরেখা বাহির হয়। সুতরাং প্রতি বর্গঃ সেঃ মিটারে $4\pi\rho$ সংখ্যক বলরেখা অতিক্রম করে। যদি তড়িৎ ক্ষেত্রের তীক্ষ্নতা (intensity) = F হয় তবে $F = 4\pi\rho$। মনে কর দুই পাতের বিভব V_a ও V_b $\therefore$ দুই পাতের বিভবের পার্থক্য = $V_a - V_b$। Fএর বিরুদ্ধে এক পাত হইতে অন্য পাতে এক একক আধান লইতে যে কায হয় = F. d.

$$\therefore \quad V_a - V_b = F.d. = 4\pi\rho.d. = 4\pi.\frac{Q}{A}.\ d.$$

সংগানুসারে $V_a - V_b = \frac{Q}{C}$ $\quad\therefore\quad \frac{Q}{C} = 4\pi.\frac{Q}{A}.d \quad\therefore\ C = \frac{A}{4\pi d.}$

e. s. একক

দুই পাতের মধ্যস্থিত মাধ্যমের Dielectric-ধ্রুবক যদি K হয় তবে

$$C = K.\frac{A}{4\pi d.}$$

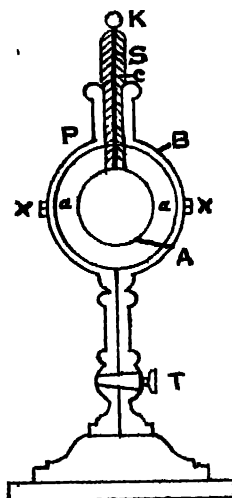
৬৪। **আপেক্ষিক আবেশিক ধারকত্ব** (Specific Inductive Capacity) (ক) **সংগা**: ফ্যারাডে প্রমাণ করেন যে আবেশের সময় আহিত পদার্থ ও পরিবাহীর মধ্যের বিভিন্ন মাধ্যম (dielectric) আবেশিক প্রভাবকে বিভিন্ন পরিমাণে নিয়ন্ত্রণ করে। সুতরাং মাধ্যমের পার্থক্যের জন্য কোন পরিবাহীর ধারকত্ব কমে বা বাড়ে। ৬২-নং অনুচ্ছেদের (ঘ) পরীক্ষায় আমরা দেখিয়াছি যে দুই পাতের মধ্যের মাধ্যম বায়ু হইতে অন্য অন্তরকে পরিবর্তিত করিলে স্বর্ণপত্রের বিস্ফারণ তথা বিভব কমিয়া যায় সুতরাং পরিবাহীর ধারকত্ব বাড়ে। কোন পরিবাহীর বায়ু মাধ্যমে ধারকত্ব সব চেয়ে

কম হয়। কোন পরিবাহীর বায়ু মাধ্যমে ধারকত্বের সঙ্গে অন্য মাধ্যমের ধারকত্বের তুলনা করা হয়। কোন পরিবাহীর কোন মাধ্যমে ধারকত্বের ও বায়ু মাধ্যমে ধারকত্বের অনুপাতকে মাধ্যমের আপেক্ষিক আবেশিক ধারকত্ব বলে :

∴ x মাধ্যমের আঃ আঃ ধারকত্ব (S. I. C)

$$=K=\frac{\text{x মাধ্যমে কোন পরিবাহীর ধারকত্ব}}{\text{বায়ু মাধ্যমে সেই পরিবাহীর ধারকত্ব}}=\frac{C_x}{C_1}$$

৬৫। আঃ আবেশিক ধারকত্ব নির্ণয় : ফ্যারাডের পরীক্ষা যন্ত্র : ফ্যারাডে দুইটি বিভিন্ন গোলীয় ঘনীকারক ব্যবহার করেন। প্রত্যেক ঘনীকারকের ভিতরে একটি ফাঁপা পিতলের বল Aর চারিপাশে আর একটি সমকেন্দ্রিক পিতলের গোলক B থাকে। বাহিরের গোলকটি অনুভূমিক তলে দুইটি অর্ধ গোলকে XX বিভক্ত হয় এবং দুইটি অর্ধগোলক বায়ু-নিরুদ্ধ ভাবে (air tight) জোড়া লাগান যায়। S ধাতব দণ্ডের এক প্রান্তে একটি বর্তুল K (knob) থাকে এবং অপর প্রান্ত ভিতরের A বলের সঙ্গে যুক্ত থাকে। S দণ্ডটি যাহাতে B গোলকের গলা স্পর্শ না করে সেই উদ্দেশ্যে দণ্ডের চারিপাশে পুরা গালার স্তর C থাকে। বলের ও গোলকের মধ্যবর্তি ফাঁপা *a a* জায়গায় পরীক্ষাধীন dielectric (মনে কর গালা) দিয়া ভর্তি করা হয়। যদি dielectricটি গ্যাস হয় তবে T ষ্টপককের মধ্য দিয়া পাম্পের সাহায্যে ফাঁপা জায়গার বায়ু বাহির করিয়া পরীক্ষাধীন গ্যাস দিয়া ভর্তি করা হয়। যদি dielectric কঠিন হয় তবে অর্ধগোলক খুলিয়া কঠিনের গুড়া রাখিয়া অর্ধগোলক পুনরায় চাপা দিতে হয়।



৩২ নং চিত্র—ফ্যারাডের যন্ত্র

পরীক্ষা ও গণনা : উপরোক্ত উপায়ে প্রস্তুত একই আকারের দুইটি ঘনীকারক লইতে হয়। মনে কর একটি ঘনীকারকের

ফাঁকা জায়গা বায়ু দ্বারা ও একটি ঘনীকারকের ফাঁকা জায়গায় পরীক্ষাধীন dielectric দ্বারা ভর্তি করা হইল। মনে কর বায়ু ঘনীকারকে K বর্তুল দিয়া Q আধান দেওয়া হইল। Quadrant বিভব-মাপক (Electrometer) কিংবা অংশাঙ্কিত তড়িৎবীক্ষণ দ্বারা বায়ু ঘনীকারকের ভিতরের বলের বিভব V_1 মাপা হইল। যদি বায়ু ঘনীকারকের ধারকত্ব $= C_1$ হয়, তবে $Q = C_1V_1$

এখন দুই ঘনীকারকের বর্তুল K ধাতব তার দিয়া যোগ কর। দুই ঘনীকারকের ধারকত্ব বিভিন্ন হওয়ায় Q আধান দুই ঘনীকারকে বিভক্ত হইয়া যায় কিন্তু উভয়ের বিভব সমান হয়। মনে কর দ্বিতীয় ঘনীকারকের ধারকত্ব $=$ C_2 এবং উভয়ের সাধারণ বিভব $= V_2$

সংযোগের পর বায়ু ঘনীকারকের আধান $= C_1V_2$

" " গালা ঘনীকারকের আধান $= C_2V_2$

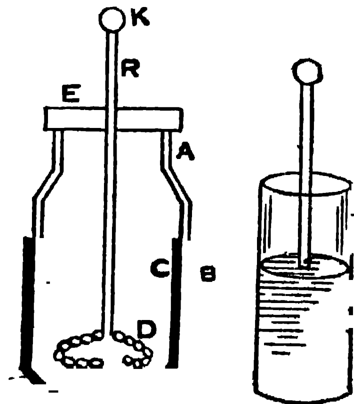
∴ " " মোট আধান $= C_1V_2 + C_2V_2$

$=$ প্রাথমিক আধান C_1V_1

$\therefore \dfrac{C_2}{C_1} = \dfrac{V_1 - V_2}{V_2}$। আমরা জানি $K = \dfrac{C_2}{C_1}$ $\therefore K = \dfrac{V_1 - V_2}{V_2}$

৬৬। **লিডেন জার (Leyden Jar)**: লিডেন জার একটি বিশেষ ধরণের ঘনীকারক। ইহাতে অনেক খানি তড়িৎ জমা করিতে পারা যায়।

(ক) **যন্ত্র**: ইহাতে নিম্নলিখিত অংশ থাকে: (ক) বড় মুখ বিশিষ্ট পাতলা কাচের বোতল A, (খ) বোতলের তলা ও ভিতর এবং বাহির পিঠের নিম্ন অংশ টিনপাত C ও B দিয়া মোড়া থাকে। (গ) ভিতরের টিনপাতের সঙ্গে একটি ধাতব শিকল



৩৩ নং চিত্র—লিডেন জার

Dর ও পিতল দণ্ড Rর সংযোগ থাকে। R দণ্ডের উপর প্রান্তে বর্তুল K

থাকে। (ঘ) দণ্ডটি একটি অন্তরক ঢাকনা E এর মধ্য দিয়া যায়। অনেক যন্ত্রে E অন্তরক থাকে না।

এই ঘনীকারকে দুইটি টিনপাত দুইটি সমান্তরাল আবরণের কাজ করে। ইহাদের মধ্যে কাচ dielectric থাকে। কার্যতঃ লিডেন জার একটি সমান্তরাল পাত ঘনীকারক K বর্তুলকে যন্ত্রেব সঙ্গে যুক্ত করিলে এবং বাহিরের টিনপাতকে মাটির সঙ্গে যুক্ত করিলে ভিতরের পাত অনেক আধান গ্রহণ করে। দুই পাত প্রায় সমান সুতরাং দুই পাতের আধান প্রায় সমান ও বিপরীত।

(খ) **লিডেন জারের আহিত করণ** (Charging a L jar) :

ভিতরের C টিনপাতের আধানের প্রকৃতি অনুসারে লিডেন জারকে +আধানে বা −আধানে আহিত বলা হয়।

+আধানে আহিত করিতে হইলে বর্তুলকে তড়িৎ যন্ত্রের **মূল পরিবাহীর** (prime conductor) সঙ্গে সংযোগ করিয়া জারের বাহিরের পাতকে হয় হাতে ধরিতে হয়, না হয় মাটিব সঙ্গে সংযোগ করিতে হয়। +আধান ভিতর পাতে সঞ্চিত হয় এবং ভিতবপাত যন্ত্রের বিভব প্রাপ্ত হয়। এই +আধান বাহির পাতের ভিতর দিকে বদ্ধ −আবিষ্ট আধান এবং বাহিব দিকে মুক্ত +আবিষ্ট আধান উৎপন্ন করে। মুক্ত +আধান মাটিতে চলিয়া যায়। ভিতরের পাত তথা জার +আধানে আহিত হয়।

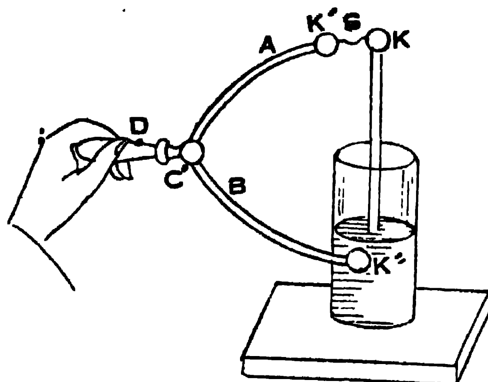
−আধানে আহিত করণ দুই উপায়ে হয় : (i) বর্তুলকে যন্ত্রের **ঋণাত্মক প্রান্তের** সঙ্গে সংযুক্ত করিতে হয় এবং বাহিরের পাতকে হাতে ধরিতে হয়, না হয় মাটির সঙ্গে সংযুক্ত করিতে হয়। (ii) বর্তুলকে হাতে ধরিয়া এবং বাহির পাতকে যন্ত্রের মূল পরিবাহীর সঙ্গে সংযুক্ত করিয়া এবং জারকে অন্তরকের উপর রাখিয়া জারকে −আধানে আহিত করা যায়।

৬৭। **লিডেন জারের তড়িৎ মোক্ষণ** (Discharging a L. jar) :

দুই প্রকারে জারের তড়িৎ-মোক্ষণ হয় : (ক) ধীরে ধীরে (slowly) (খ) ক্ষণিকের মধ্যে (instantaneously)।

(ক) ক্ষণিকের মধ্যে মোক্ষণ করিবার জন্য এক রকম **মোক্ষণ যন্ত্র** (discharger) বা **চিমটা** ব্যবহৃত হয়। ইহাতে এক জোড়া বাঁকান পিতলের

দণ্ড A ও B থাকে। প্রত্যেক দণ্ডের এক প্রান্ত পিতলের বর্তুল K' ও K" এ শেষ হইয়াছে অপর প্রান্ত C কব্জাতে জোড়া থাকে। সমস্তটাই অন্তরিত কাচের হাতল D এর সঙ্গে যুক্ত থাকে। চিমটাকে কাচের হাতলে ধরিয়া ইহার একটি বাতুর্ল K" কে আহিত লিডেন জারের বহিরাবণের গায়ে লাগাইয়া অপর বর্তুল K' কে জারের বর্তুল Kর নিকট লইয়া গেলে ভিতর আবরণের + আধান বায়ুস্তর ভেদ করিয়া লাফাইয়া বহিরাবণের — আধানের সঙ্গে যুক্ত



৩৪ নং চিত্র—লিডেন জারের তড়িৎ মোক্ষণ

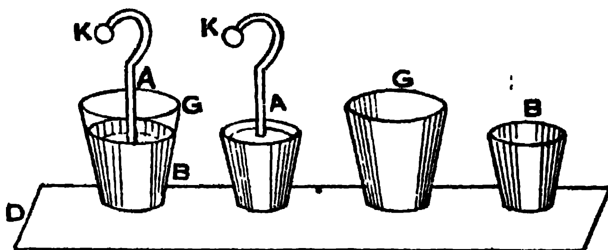
হয় এবং অগ্নিস্ফুলিঙ্গ S দেখা যায়। দুই আধান প্রশমিত হয় এবং জার সম্পূর্ণভাবে মোক্ষিত হয়। এই কারণে আহিত অন্তরিত জারের বর্তুলকে কখনও হাত দিয়া স্পর্শ করিবে না। ইহাতে শরীরের মধ্য দিয়া তড়িৎ মোক্ষণ হয়।

(খ) ধীরে ধীরে মোক্ষণ করিবার জন্য আহিত জারকে অন্তরিত দণ্ডের উপর রাখিয়া বর্তুল K কে ও বহিরাবরণকে পর্য্যায়ক্রমে পর পর হাত দিয়া ধরিতে হয় কিংবা মাটি সংলগ্ন করিতে হয়। প্রত্যেক বার যখন যে আবরণ মাটি সংলগ্ন হয় তখন আধানের একটু অংশ মোক্ষিত হয়।

৬৮। **লিডেন জারে আধানের অবস্থিতি** (Seat of charge): ঘনীকারকের তড়িতাবেশ dielectric একটি বিশেষ অংশ গ্রহণ করে। আবিষ্ট দুই জাতীয় আধান ধাতব আবরণে থাকে না। ইহারা কাচ

dielectric এর দুই পৃষ্ঠ তলে ছড়াইয়া থাকে। দুই আবরণ মাত্র তড়িৎ পরিবহন করে। এই বিষয় পরীক্ষা করিবার জন্য একটি বিশেষ ধরণের ব্যবচ্ছিন্ন (dissected) লিডেন জার ব্যবহার করা হয়। A ও B পৃথক ধাতব আবরণ, G কাচপাত্র।

পরীক্ষা—(ক) G পাত্রের মধ্যে A আবরণ রাখ এবং Gএর বাহিরে B আবরণ রাখ। সমস্ত যন্ত্রকে একটি অন্তরিত টেবিল Dএর উপর রাখ। Aর K বর্তুলের সঙ্গে যন্ত্রের যোগ করিয়া জারকে আহিত কর। A আবরণকে ও



৩৫ নং চিত্র—ব্যবচ্ছিন্ন লিডেন জার

G কাচ পাত্রকে অন্তরিত হাতল দিয়া পৃথক করিয়া টেবিলের উপর রাখ। ইহাদের প্রত্যেক আধানকে অনাহিত তড়িৎবীক্ষণ দ্বারা পরীক্ষা কর। A ও Bকে খুব ক্ষীণ বিপরীত আধানে আহিত দেখা যায় এবং Gকে তীব্র আধানে আহিত দেখা যায়।

(খ) প্রত্যেক অংশকে পুনরায় স্বস্থানে রাখ। চিম্‌টার সাহায্যে তড়িৎ মোক্ষণ করিলে অগ্নিস্ফুলিঙ্গ পাওয়া যায়।

সিদ্ধান্তঃ কাচপাত্রের দুই পিঠে বিপরীত আধান অবস্থান করে। যদিও আবরণকে আধান দেওয়া হয় কিন্তু আধানের শক্তি কাচের দুই পিঠে অবস্থান করে। আধান কাচ মাধ্যম হইতে তড়িৎ শক্তি পায়।

৬৯। **অবশিষ্ট আধান ও মোক্ষণ** (Residual charge and discharge);

পরীক্ষাঃ লিডেন জারকে ধীরে ধীরে একটি নির্দিষ্ট বিভবে আহিত

কর। তৎপরে তাড়াতাড়ি চিমটার সাহায্যে ইহাকে তড়িৎ মোক্ষণ কর। ইহার বিভব শুন্য মানে আসে। কিছুক্ষণ উহাদের স্থির থাকিতে দাও। এই সময়ে আবার বিভব ক্রমশঃ বাড়িতে থাকে। জারকে পরীক্ষা করিলে উহার বিভব পূর্বে চিহ্নে ফিরিয়া আসিতে দেখা যায় যদিও উহা পরিমাণে কম হয়। সুতরাং চিমটা দিলে পুনরায় অগ্নিস্ফুলিঙ্গ দেখা যায় যদিও অগ্নিস্ফুলিঙ্গের তীব্রতা কম হয়। পুনরায় বিভব শুন্য মানে আসে। যদি জার সম্পূর্ণ শুষ্ক হয় তবে এইরূপ পর পর তৃতীয়, চতুর্থ স্ফুলিঙ্গ পাওয়া যায়। এইরূপে প্রথম মোক্ষণের পরও dielectric এ খানিকটা আধান অবশিষ্ট থাকে। ইহাকে **অবশিষ্ট আধান** বলে। প্রথম মোক্ষণের পরবর্ত্তি মোক্ষণকে **অবশিষ্ট মোক্ষণ** (Residual discharge) বলে।

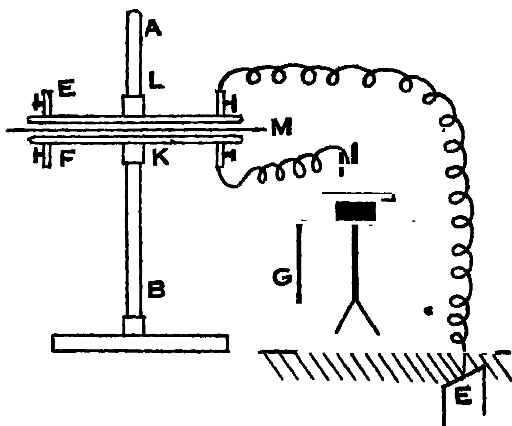
ব্যাখ্যা ঃ কাচ Dielectric এর দুই পিঠে বিপরীত আধান থাকে। এই আধান পরস্পর আকর্ষণ করে। কিন্তু Dielectric অন্তরক বলিয়া ইহার মধ্য দিয়া দুই আধান প্রবাহিত হইয়া পরস্পর প্রশমিত করে না সুতরাং আকর্ষণ বলের (stress) জন্য অনুগুলি টান (strain) অবস্থায় থাকে। এই কারণে Dielectric এর মধ্যে একটা তড়িৎ ক্ষেত্রের উৎপত্তি হয়। পরিবাহীর মধ্য দিয়া তড়িৎ প্রবাহিত হয় বলিয়া পরিবাহীর ভিতরে এইরূপ কোন টান বা তড়িৎ ক্ষেত্র থাকে না। জারকে খুব উচ্চ বিভবে আহিত করিলে Dielectric এর অনুগুলি খুব টানে থাকে সুতরাং খানিকটা আধান Dielectric এর ভিতরে চলিয়া যায়। আবরণের প্রথম তড়িৎ মোক্ষণের সময় এই গুপ্ত আধান মোক্ষিত হয় না। প্রথম মোক্ষণের পর এই গুপ্ত আধান আবার ধীরে ধীরে Dielectric এর উপরতলে আসে এবং পরবর্ত্তি মোক্ষণের কারণ হয়। স্থিতিস্থাপক কঠিনের উপর হইতে চাপ সরাইলে কঠিন যেমন সঙ্গে সঙ্গেই টান মুক্ত হয় না তেমন আধান প্রশমিত হইলে ও সব তড়িৎ Dielectric হইতে চলিয়া যায় না। এই ঘটনা কেবল মাত্র কঠিন Dielectric এ দেখা যায়।

৭০। **ঘনীকারকের ব্যবহার ঃ** ঘনীকারকের সাহায্যে তড়িৎ যন্ত্রে

অল্প বিভবে অনেকখানি তড়িৎ জমা করিয়া রাখা হয়। বেতার-টেলিগ্রাফি ও টেলিফোনিতে ইহা ব্যবহৃত হয়।

✓৭১। **ঘনীকারক তড়িৎবীক্ষণ যন্ত্র** (ondensing Electroscope) : **যন্ত্র ঃ** চাকতি Kর উপর একই ব্যাসের অপব একটি ধাতব চাকতি L রাখা হয়। দুই চাকতির মাঝ খানে M গালা থাকে সুতরাং দুই চাকতি একটি সমান্তরাল পাত ঘনীকারক গঠন করে। মাঝখানে Dielectric গালা থাকে।

K ও L চাকতিতে যথাক্রমে A ও B আন্তরিত হাতল লাগান আছে। নীচের চাকতি G তড়িৎবীক্ষণের সহিত যুক্ত আছে। L চাকতি মাটি সংলগ্ন থাকে। E ও F বন্ধনীর সহিত ক্ষুদ্র বিভবযুক্ত কোষের বা অন্য তড়িৎ উৎসর দুই প্রান্ত বন্ধনীর (termina') যোগ কর। ইহাতে স্বর্ণপত্রের কোন বিস্ফারণ হয় না। কেন ? এখানে দুইটি চাকতি খুব নিকটে থাকায়



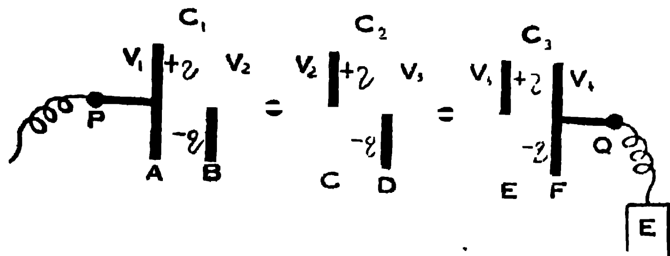
৩৬ নং চিত্র—ঘনীকারক তড়িৎবীক্ষণ

ইহাদের ধারকত্ব C খুব বৃদ্ধি পায় এবং Q কম হওয়ায় বিভবও কম হয় সেইজন্য স্বর্ণপত্র বিস্ফারিত হয় না। এখন তড়িৎ উৎসর সঙ্গে সংযোগ ছিন্ন কর। দুই চাকতিকে ধীরে ধীরে পৃথক কর। এইরূপে চাকতির ধারকত্ব কমিয়া যায়, বিভব বাড়িয়া যায় সুতরাং স্বর্ণপত্র বিস্ফারিত হয়। এই যন্ত্র দ্বারা সামান্য বিভব পার্থক্য মাপা যায়, যথা দুই ধাতুর সংযোগ স্থলের বিভব।

৭২। ঘনীকারকের সমবায় করণ (Grouping of Condensers) **:**

বৃহৎ বিভব পার্থক্য বা বৃহৎ ধারকত্ব উৎপন্ন করিতে কতকগুলি লিডেন জার বা অন্য ঘনীকারককে দুই উপায়ে যোগ করা :—

(ক) **শ্রেণী** (Series) **সমবায়** (Cascade) **:** এই ব্যবস্থায় প্রথম ঘনীকারকের বহিরাবরণ (ধনাত্মক) B দ্বিতীয়টার ভিতরাবরণ (ঋণাত্মক) Cর সঙ্গে এবং দ্বিতীয়টার বহিরাবরণ D তৃতীয়টার ভিতরাবরণ Eর সঙ্গে এইরূপ পর পর যুক্ত হয়। সমস্ত ঘনীকারকগুলি অন্তরিত হয় কেবল শেষের বহিরাবরণ F মাটি সংলগ্ন থাকে। প্রথমটার A আবরণ তড়িৎযন্ত্রের সঙ্গে যোগ করা থাকে এবং প্রথমটার A আবরণে +q আধান দাও। +q আধান আবেশের জন্য B আবরণের ভিতরদিকে −q আধান এবং C আবরণে +q আধান



৩৭ নং চিত্র—শ্রেণী সমবায়

উৎপন্ন হয় কারণ B ও C ধাতব সংযোগে আছে। এইরূপ প্রত্যেক ঘনীকারকের প্রথম আবরণে +q, দ্বিতীয় আবরণে −q আধান উৎপন্ন হয়। শেষ ঘনীকারকের বহিরাবরণের বাহির পিঠের আবিষ্ট মুক্ত +q আধান মাটিতে চলিয়া যায়। কিন্তু ইহার বহিরাবরণের ভিতর পিঠে −q আধান থাকে। মনে কর পৃথক ঘনীকারকের ধারকত্ব C_1, C_2, C_3......এবং সমস্ত সমবায়ের মোট ধারকত্ব=C. B ও C সংযুক্ত আছে সুতরাং উহাদের বিভব সমান। এইরূপ প্রত্যেক জোড়া পোতের বিভব সমান। মনে কর A, B, C, F প্রভৃতি পরিবাহক বিভব যথাক্রমে V_1, V_2, V_3......

∴ দুইটি আবরণের বিভব পার্থক্য যথাক্রমে V_1-V_2, V_2-V_3, V_3-V_4+......

$\therefore \quad V_1 - V_2 = \frac{q}{C_1}, \; V_2 - V_3 = \frac{q}{C_2}, \; V_3 - V_4 = \frac{Q}{C_3}$

∴ প্রথম আবরণ A ও শেষ আবরণ F এর মধ্যে বিভব পার্থক্য $V = V_1 - V_4 = (V_1 - V_2) + (V_2 - V_3) + (V_3 - V_4) \cdots\cdots$(ক) সমস্ত ঘনীকরকের বিভব পার্থক্যব যোগফল।

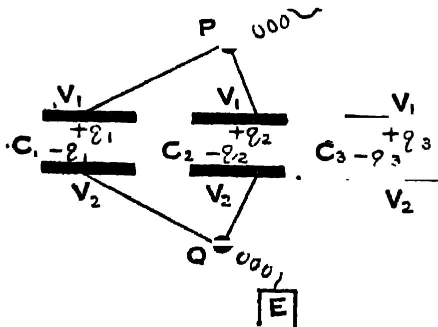
মোট ধারকত্ব $C = \frac{q}{V} \quad \therefore \; V = V_1 - V_4 = \frac{q}{C}$

∴ (ক) হইতে $\frac{q}{C} = \frac{q}{C_1} + \frac{q}{C_2} + \frac{q}{C_3} + \cdots\cdots$

$\therefore \quad \frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \cdots\cdots$

যখন বৃহৎ বিভব পার্থক্য প্রয়োজন হয় তখন এই ব্যবস্থা অবলম্বিত হয়।

(খ) **সমান্তরাল** (Parallel) **সমবায়:** এই ব্যবস্থায় প্রত্যেক ঘনীকারকের ভিতর ও বাহির আবরণ যথাক্রমে সাধারণ প্রান্ত বন্ধনী P ও Qর সঙ্গে যুক্ত থাকে। যখন Pতে একটি আধান দেওয়া হয় তখন সব ঘনীকাবকেব ভিতর আবরণগুলি সমান বিভব V_1 প্রাপ্ত হয় এবং বহিরাববণগুলি সমান বিভব V_2 প্রাপ্ত হয়। যদি Qকে



৩৮ নং চিত্র—সমান্তরাল সমবায়

মাটি সংলগ্ন করা হয় তবে $V_2 = 0$ হয়। মনে কর প্রত্যেক ঘনীকারকে দুই আবরণের বিভবের পার্থক্য $= V$. মনে কর পৃথক ঘনীকারকের ধারকত্ব $= C_1, C_2, C_3 \cdots\cdots$ ভিতর আবরণের আধান $= q_1, q_2, q_3 \cdots\cdots$

$\therefore \quad q_1 = C_1 V, \quad q_2 = C_2 V, \quad q_3 = C_3 V.$

যদি মোট আধান $= q$ হয় তবে $q = q_1 + q_2 + q_3 + \cdots\cdots$

$= V(C_1 + C_2 + C_3 + \cdots\cdots) \cdots\cdots$(ক)

আবার সমস্ত ঘনীকারকের মোট ধারকত্ব $C=\frac{q}{V}$ বা $q=CV$.

(ক) হইতে $VC=V(C_1+C_2+C_3+\cdots\cdots)$

$\therefore \quad C=C_1+C_2+C_3+\cdots\cdots\cdots$

মোট ধারকত্ব = বিভিন্ন ধারকত্বের যোগফল।

এই ব্যবস্থায় খুব বৃহৎ ধারকত্ব পাওয়া যায়।

অঙ্ক : 1. Two spheres of 2 and 6 cms. radius are charged respectively with 80 and 30 units of electricity. Compare ther potentials. If they are connected by a fine wire how much electricity will pass along it. (C. U. 1932)

মনে কর প্রথম ও দ্বিতীয় গোলকের ধারকত্ব, বিভব, আধান ও ব্যাসার্ধ যথাক্রমে C_1 ও C_2, V_1 ও V_2, Q_1 ও Q_2, r_1 ও r_2. আমরা জানি

$$C=r=\frac{Q}{V} \therefore \quad V_1=\frac{Q_1}{r_1}=\frac{৮০}{২}=৪০\ ,\ V_2=\frac{Q_2}{r_2}=\frac{৩০}{৬}=৫$$

$$\therefore \quad \frac{V_1}{V_2}=\frac{৪০}{৫}=\frac{৮}{১}$$

দুই গোলক সংযুক্ত হইলে প্রথম গোলক উচ্চ বিভবে থাকাতে প্রথম গোলক হইতে দ্বিতীয় গোলকে তড়িৎ প্রবাহিত হয় যতক্ষণ উভয়ের বিভব সমান না হয়। মনে কর সাধারণ বিভব $=V$ এবং প্রথম গোলকের আধান $=q_1$ দ্বিতীয় গোলকের আধান $=q_2$। মোট আধন $q_1+q_2=৮০+৩০$ $=১১০$ একক

$$\therefore \quad V=\frac{q_1}{r_1}=\frac{q_2}{r_2}=\frac{q_1+q_2}{r_1+r_2} \quad \therefore \quad q_1=r_1\times\frac{q_1+q_2}{r_1+r_2}$$

$$=\frac{২\times ১১০}{২+৬}=২৭\cdot৫ \text{ একক}$$

কিন্তু প্রথম গোলকে প্রথমে ৮০ একক আধান ছিল $\therefore$ $(৮০-২৭\cdot৫)$ $=৫২\cdot৫$ একক আধান তার দিয়া প্রবাহিত হইবে।

2. Two condensers of capacities 5 and 10 units are

charged respectively to 16 and 13 units of potential. What is the common potential when they are connected in parallel. ?

(C. U. 1941)

মনে কর সংযোগের পূর্বে ইহাদের আধান $= Q_1$ ও Q_2 $\therefore$ Q_1 $=$ ৫ $\times$ ১৬ $=$ ৮০ একক, $Q_2 =$ ১০ $\times$ ১৩ $=$ ১৩০ একক। সংযোগের পর মোট ধারকত্ব $C =$ ৫ $+$ ১০ $=$ ১৫ একক। মোট আধান $=$ ৮০ $+$ ১৩০ $=$ ২১০ একক

$\therefore$ সাধারণ বিভব $V = \frac{Q}{C} = \frac{২১০}{১৫} =$ ১৪ একক

প্রশ্ন।

1. Explain what is meant by the capacity of a condenser. Upon what factors does the capacity of a Leyden jar depend ?

(All. 1932 ; Pat. 44)

2. Show that the capacity of a spherical conductor is numerically equal to its radius. (C. U. 1937.)

3. Two conductors of capacity 10 and 15 respectively are connected by a fine wire and a charge of 1000 units is divided between them. Find the potential of either conductor and the charge on each. (C. U. 1920. Cf. 33)

4. Define potential and the capacity of a conductor, and obtain from the definitions an expression to connect tnem with the quantity of charge. (All '45)

5. Explain the following , "A condenser is an arrangement by which the capacity of an insulated conductor is artificially increased." (C. U. 1941)

6. Explain how Faraday determined the fact that different substances have different specific inductive capacities.

(C. U. 1933 ; Pat 1927)

7. Define capacity and specific inductive capacity. (Cf Pat 1942, 46.)

What do you mean by the statement that the specific inductive capacity of paraffin is 2 19 ?

8. What do you understand by the specific inductive capacity of a di-electric ? Explain how with two exactly similar spherical condensers and a gold-leaf electroscope you can find S. I. C. of sulphur. (C. U. 1940)

9. Four metallic spheres of 4, 5, 8, 10 cms. diameter are joined together by a very fine metallic wire, and a charge of 810 C. S units is imparted to the system. Find the charge on each sphere, and their common potential. (Pat 1948)

10. Describe the construction of a Leyden jar. In charging a Leyden jar, the outer coating is (*a*) insulated, (*b*) connected to the earth. What difference does it make ?

(C. U. 1912, '14, '19, '24, '29 : Cf All '23 ; Pat '31)

11. What is meant by the residual charge of a condenser ? (C. U. 1929)

12. What is meant by the statement that the electric potential at a point is 10 ? Find an expression for the capacity of a parallel plate condenser. (Pat 1927)

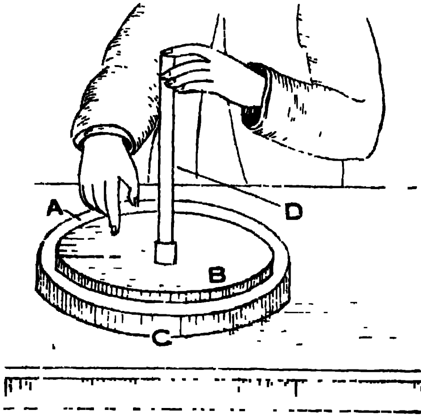
তড়িৎ-যন্ত্র (Electrical Machine)

৭৩। **তড়িৎ যন্ত্র :** যে যন্ত্র দিয়া শীঘ্র শীঘ্র অধিক পরিমাণে তড়িতের নিরবচ্ছিন্ন সরবরাহ পাওয়া যায় তাহাকে **তড়িৎ যন্ত্র** বলে। তড়িৎ ঘর্ষণে ও আবেশে উৎপন্ন হয় সুতরাং তড়িৎ উৎপন্নের পার্থক্য অনুসারে যন্ত্রগুলি দুইভাগে বিভক্ত হয় যথা—**ঘর্ষণ যন্ত্র** ও **আবেশ যন্ত্র**। ঘর্ষণ যন্ত্রগুলিই বেশী ব্যবহৃত হয়। প্রত্যেক যন্ত্রে দুইটি অংশ থাকে—এক অংশে তড়িৎ উৎপন্ন হয়,

অপর অংশে তড়িৎ সঞ্চিত হয়। প্রথম অংশকে **উৎপাদক** (Generator) এবং শেষোক্ত অংশকে **সংগ্রাহক** (Collector) বলে।

৭৪। **ইলেক্‌ট্রোফোরাস** (Electrophorus) : ইহা সরলতম আবেশ যন্ত্র। এই যন্ত্রে আবেশের নীতিতে একটি মাত্র আধান হইতে অনেকগুলি আধান পাওয়া যায়।

(ক) **যন্ত্র :** ইহাতে নিম্নলিখিত অংশ থাকে : (ক) **উৎপাদক**—ইহা একটি ইবোনাইট নির্মিত পাত A। এই যন্ত্রের উৎপাদককে **পিঠা** (Cake) বলে। (খ) **সংগ্রাহক** (Cover) : ইহা অন্তরিত হাতল D যুক্ত একটি গোল ধাতব পাত B। ইহার ব্যাস পিঠার ব্যাসের চেয়ে একটু কম হয়। পিঠার তল খস্‌খসে হয়। সুতরাং যখন B পাত A পিঠার উপর রাখা হয় তখন ইহা A পিঠাকে মাত্র কয়েকটি বিন্দুতে স্পর্শ করে সুতরাং B পাত ও A পিঠার মধ্যে বায়ুর পাতলা স্তর থাকে। ইহা Dielectric এর কাজ করে।



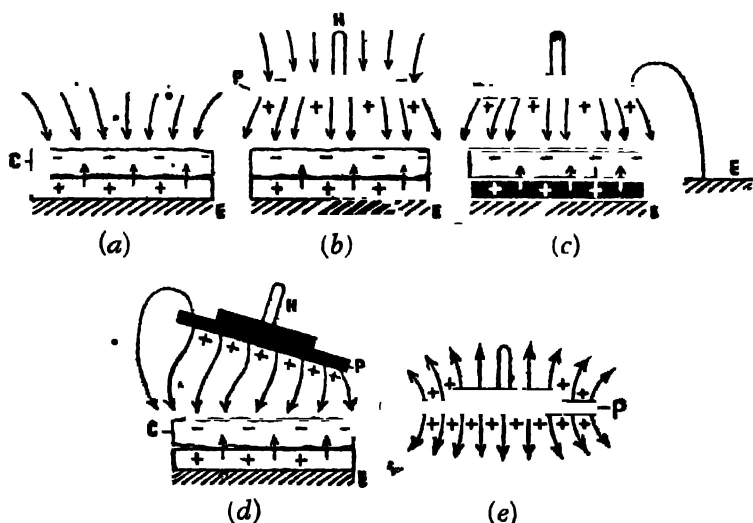
৩৯ নং চিত্র—ইলেক্‌ট্রোফোরাস

(গ) **আসন** (Sole) : ইহা থালার মত একটি অগভীর ধাতব চাকতি C। ইহার মধ্যে B পিঠাকে বসান হয়।

সুতরাং যন্ত্রের মধ্যখানে থাকে A পাত, উপরে থাকে B পাত, নীচে থাকে চাকতি C।

(খ) **যন্ত্রের কার্য্য :** (ক) প্রথমে যন্ত্রের সকল অংশ রৌদ্রে বা অল্প তাপে মৃদু উষ্ণ কর। (খ) পিঠার উপর ঋণাত্মক তড়িতের উৎপত্তি হয়। (গ) অন্তরিত হাতল D ধরিয়া B পাতকে পিঠার উপর বসাও। (ঘ) B পাত A পিঠা হইতে কয়েকটি স্পর্শ-বিন্দুর মধ্য দিয়া পরিবহনে অতি সামান্য

—আধান প্রাপ্ত হয় কিন্তু C পিঠার আধান বায়ুর পাতলা স্তরের মধ্য দিয়া P পাতের উপর অনেকখানি আবিষ্ট আধান উৎপন্ন করে। সুতরাং P পাতের নিম্নতলে বদ্ধ +আধান ও উপরতলে মুক্ত —আধান সৃষ্ট হয় (*b*)। (ঙ) B পাতকে মুহূর্তের জন্য আঙ্গুল দিয়া স্পর্শ কর (*c*)। উপর তলের মুক্ত —আধান দেহের মধ্য দিয়া মাটিতে চলিয়া যায়। ইহা বিভব শূন্য হয়। P পাতের উপরের বলরেখাগুলি অন্তর্হিত হয়। (চ) H হাতল ধরিয়া P পাতকে উপরে উঠাইলে P পাতের নিম্নের বলরেখাগুলি বিস্তৃত হয় এবং বলরেখাগুলি দূর প্রান্ত



৪০ নং চিত্র—ইলেক্‌ট্রোফোবাসের বিভিন্ন অবস্থায় বলরেখার ছবি

দেওয়াল বা টেবিলে লাগিয়া যায় (*d*)। (ছ) এখন P পাতকে দূরে লইলে C পিঠার আবেশিক প্রভাব অন্তর্হিত হয় এবং আবিষ্ট ঋণাত্মক আধান P পাতের দুই ধারে ছড়াইয়া পড়ে। P পাতের এই আধান যে কোন পদার্থে স্থানান্তরিত করা যায়। C পিঠার উপর পুনরায় P পাত রাখিয়া উপরোক্ত পদ্ধতির কয়েকবার পুনরাবৃত্তি করিয়া পূর্ববৎ P পাতে আধান সংগ্রহ করা যায়। এইভাবে পিঠাকে একবার আহিত করিয়া উহা হইতে ইচ্ছামত যে কোন

পরিমাণ তড়িৎ উৎপন্ন করা সম্ভব হয়। ৪০ নং চিত্রে যন্ত্রের পর পর অবস্থায় বলরেখায় বিস্তৃতি দেখান হইল।

দ্রষ্টব্য : (ক) C পিঠার ক্ষেত্রফল বাড়াইলে আধানও সমানুপাতে বাড়িয়া যায়। P পাতকে অন্তরিত পরিবাহীর নিকটে আনিলে পরিবাহীর বিভব ও পাতের বিভব যতক্ষণ সমান না হয় ততক্ষণ পর্যন্ত পরিবাহী আধান গ্রহণ করে সুতরাং পরিবাহীতে প্রদত্ত আধানের সীমা থাকে।

(গ) আসনের কার্য : ঘর্ষণে পিঠায় উৎপন্ন ঋণাত্মক আধান আসনের ভিতর পিঠে ধনাত্মক আবিষ্ট আধান ও বাহির পিঠে ঋণাত্মক আবিষ্ট আধান উৎপন্ন করে, কিন্তু বাহির পিঠের আবিষ্ট আধান মাটিতে চলিয়া যায়। সেইজন্য আসনের ধনাত্মক আধান পিঠার ঋণাত্মক আধানকে আকর্ষণ করে এবং ইহাকে পিঠার কিছু ভিতরে টানিয়া ধরে। সেইজন্য পিঠার তড়িৎ মোক্ষণের (leakage) সম্ভাবনা কমিয়া যায়। যেহেতু পিঠা অপরিবাহী-দ্রব্য দিয়া গঠিত সেহেতু ইহার আধান B পাতে পরিবাহিত হয় না। পাতকে অমসৃণ পিঠার উপর রাখিলে ইহাকে কয়েকটা বিন্দুতে মাত্র স্পর্শ করে। কাজেই পিঠা ও পাতের মধ্যে বায়ুর স্তর থাকে সেইজন্য পরিবহন খুব সামান্য হয়।

(ঘ) শক্তির নিত্যতা সূত্র ও ইলেকট্রোফোরাস : পিঠাকে একবার মাত্র আহিত করিয়া B পাতে অফুরন্ত আধান প্রাপ্ত হওয়া যায়। অর্থাৎ পিঠার সামান্য পরিমাণ তড়িৎ শক্তি হইতে B পাতে আমরা অনির্দিষ্ট পরিমাণ তড়িৎ শক্তি পাইতে পারি। আপাত দৃষ্টিতে ইহা শক্তির নিত্যতা সূত্রের বিরুদ্ধাচরণ করে মনে হয় কিন্তু ইহা সত্য নয়। পাত ও পিঠার দুইটি বিপরীত আধান পরস্পরকে আকর্ষণ করে। সুতরাং অনাহিত B পাতকে তুলিতে যতটা দৈহিক কার্য করিতে হয় আহিত পাতকে আকর্ষণের বিরুদ্ধে তুলিতে তার চেয়ে বেশী দৈহিক কায করিতে হয়।

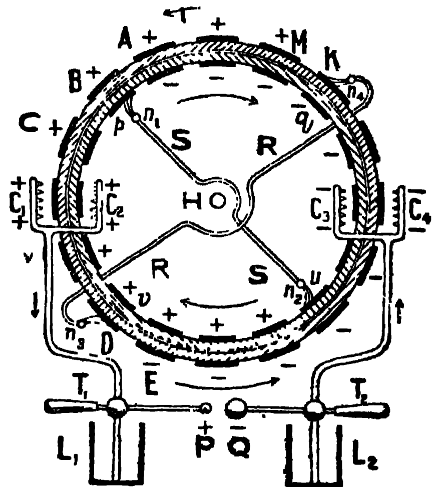
এই দৈহিক কার্য হইতে উদ্ভূত যান্ত্রিক শক্তি (mechanical energy) তড়িৎ শক্তিতে রূপান্তরিত হইয়া B পাতে তড়িৎ সরবরাহ করে সুতরাং শক্তির নিত্যতা সূত্রের কোন ব্যত্যয় ঘটে না। নানা কারণে পিঠার মূল আধান স্বতঃ

নির্গমণ (slow leakage) দ্বারা কমিয়া আসিবে সেইজন্য কার্যতঃ পিঠাকে একবার ঘর্ষণ করিয়া যে কোন পরিমাণ আধান পাওয়া যায় না।

৭৫। **উইমস্‌হারসট যন্ত্র** (Wimshurst Machine) :

যন্ত্রের বিবরণ: ইহা আবেশের নীতিতে কাজ করে। ইহাতে নিম্নলিখিত অংশ থাকে:

(ক) সমান আকৃতির দুইটি গোলাকার বার্ণিশযুক্ত (varnished) কাচের বা ইবোনাইটের পাত মুখোমুখি একই অনুভূমিক অক্ষ Hতে বসান থাকে এবং ইহাদিগকে বিপরীত দিকে একই বেগে আবর্তন করা যায়। ৪১ নং চিত্রে তীর চিহ্ন দ্বারা আবর্তনের অভিমুখ দেখান হইয়াছে। (খ) প্রত্যেক পাতের পরিধিতে সমান সংখ্যক ধাতব বোতাম বা ঘুন্‌টি (stud বা sector) থাকে; যথা উপরের A, B, C, D, E প্রভৃতি বোতাম পিছনের পাতে থাকে ও ভিতরের p, q, u v প্রভৃতি বোতাম সামনের পাতে থাকে। এই বোতামগুলি আবেশক (inductor) ও পরিবাহীর কাজ করে। (গ) দুই জোড়া ধাতব ব্রাশ (brush) n_1 n_2 ও n_3 n_4 দুইটি কর্ণ-পরিবাহী (diagonal conductor) SS ও RR দ্বারা যুক্ত থাকে। কর্ণ দুইটি পরস্পর ৯০° কোণে অবস্থিত থাকে। পাত দুইটিকে ঘুরাইলে প্রত্যেক জোড়া ব্রাশ একসঙ্গে বিপরীত দুইটি বোতামকে স্পর্শ করে। (ঘ) দুই পাতের সম্মুখে দুই জোড়া সংগ্রাহক চিরুণী (collecting combs) C_1 C_2 এবং C_3C_4 থাকে। পাত ঘুরাইলে চিরুণীর সূক্ষ্ম দাঁড়াগুলি সামনের ও পশ্চাতের পাতের বোতামের গায়ে লাগিয়া যায়। এই



৪১ নং চিত্র—উইমস্‌হারসট যন্ত্র

চিরুণীগুলি দুইটি লিডেন জারের L_1 L_2র ভিতরের আবরণের সহিত সংযুক্ত থাকে এবং দুইটি মোক্ষণকারী বর্তুল (discharging knobs) P ও Qতে শেষ হয়। L_1 L_2 দুইটি জার যন্ত্রের পাটাতনের (base board) উপর স্থাপিত হয়।

ক্রিয়া ঃ যে কোন বোতামে একটু আধান থাকিলেই যন্ত্রকে চালু করা যায়। মনে কর বহির্পাতের A বোতামে একটু +আধান আছে। +আধানের আবেশিক ক্রিয়া সংঘটিত হয়। দুইটি পাতকে ঘুবাইলে যখন A বোতাম B অবস্থানে আসে তখন ভিতর পাতের p বোতাম n_1 ব্রাশের গায়ে লাগে। তখন Aর +আধান নিকটতম p বোতামে −আবিষ্ট বদ্ধ আধান এবং দূরতম u বোতামে +আবিষ্ট মুক্ত আধান উৎপন্ন করে। u বোতাম সেই মুহূর্তে n_2 ব্রাশ দ্বারা স্পর্শিত হয। পাতকে আরও ঘুবাইতে থাকিলে Bতে অবস্থিত +আধানযুক্ত বোতাম C_1 চিরুণীব বিপরীত দিকে আসে। C_1 চিরুণীব দাঁতগুলি সূক্ষ্ম বলিয়া +আধানযুক্ত হয়। বোতামটি তড়িৎ মোক্ষিত হয়। u বোতামও +আধানযুক্ত হইয়া C_1C_2 চিরুণীর দিকে আগাইযা আসে। সুতরাং C_1C_2 যুগ্ম চিরুণী ও T_1 পরিবাহী সম সময়েই +আধান উৎপন্ন করে। আবার যখন আবর্তনের সময় u বোতাম v অবস্থানে আসে তখন D বোতাম আবেশের ফলে −আধানযুক্ত হয় এবং K বোতাম +আধান যুক্ত হয়। D বোতাম C_4 চিরুণীব দিকে আসে এবং শেষকালে C_4কে −আধান যুক্ত করে। সুতরাং C_3 ও C_4 চিরুণীর বিপরীত দিকে বোতামগুলি আসিলে C_3 ও C_4 চিরুণীতে −আধান উৎপন্ন হয়। T_2 পরিবাহী সর্বদাই −আধান উৎপন্ন করে।

কিছুক্ষণ যন্ত্রকে চালু করিলে P ও Qতে যথাক্রমে +আধান ও −আধান জমিতে থাকে সুতরাং উহাদের মধ্যে বিভব পার্থক্য বাড়িতে থাকে। এমন অবস্থা আসে যে P ও Q এর মধ্যে বায়ুস্তর এই বিভব-পার্থক্য সহ্য করিতে পারে না। P ও Q এর বিপরীত আধান স্ফুলিঙ্গ উৎপাদন করিয়া প্রশমিত হয়। P ও Q আধানশূন্য হয়। P ও Qতে আধান জমিতে কিছুক্ষণ সময়

লাগে। সুতরাং স্ফুলিঙ্গগুলি নিরবিচ্ছিন্ন হয় না। লিডেন জারগুলি P ও Q তড়িৎ-মোক্ষকের (discharger) ধারকত্ব বৃদ্ধি করে।

এই যন্ত্রের সাহায্যে ৪০,০০০ হইতে ৫০,০০০ ভোল্ট বিভব-পার্থক্য উৎপন্ন করা যায়। ১০০,০০০ ভোল্ট বিভব-পার্থক্য হইলে আগ্নিস্ফুলিঙ্গ ৪″ ইঞ্চি দীর্ঘ হয়।

৭৬। **বায়ুমণ্ডলের তড়িৎ** (Atmospheric Electricity): আকাশে বিদ্যুৎ-চমকানো (lightning) ও বজ্রধ্বনি (thunder) প্রমাণ করে যে বায়ু-মণ্ডলে দুই জাতীয় আধান প্রভূত পরিমাণে বর্তমান থাকে। মেরু অঞ্চলে তড়িতাহিত কণার তড়িৎ-মোক্ষণের সময় আলোক প্রভা দেখা যায়। ইহাকে Aurora Borealis বলে

বায়ুমণ্ডলের তড়িতের কারণ এখনও সঠিক জানা যায় নাই। নিম্নলিখিত কারণে বায়ুমণ্ডলে তড়িতের উৎপত্তি হইতে পারে:—

(ক) সূর্য বা অন্য জ্যোতিষ্ক হইতে উদ্ভূত অতিবেগুনী (ultra-violet) রশ্মি ও কস্‌মিক রশ্মি বায়ুমণ্ডলের ঊর্ধ্বস্তরের বায়ুর অণুকে +আধান ও −আধানযুক্ত আয়নে ভাঙ্গিয়া ফেলে। বেতার তরঙ্গ বিষয়ক গবেষণার সময় বৈজ্ঞানিকগণ এইরূপ আয়নের উপস্থিতির প্রমাণ পাইয়াছেন।

(খ) পৃথিবী পৃষ্ঠের বিরাট জলভাগ হইতে উত্থিত জলীয় বাষ্প +আধান যুক্ত হয় এবং জল ও মাটি −আধান যুক্ত হয়।

(গ) জলপ্রপাতের জল যখন নীচে পাথরের উপর পড়িয়া জলকণায় বিভক্ত হয় তখন জলকণা +আধান যুক্ত হয় এবং চতুপার্শ্বস্থ বায়ু −আধান যুক্ত হয়।

(ঘ) বৃষ্টির ফোঁটা বায়ুর দ্বারা বিভক্ত হইলে বায়ু তড়িতাহিত হয়।

(ঙ) বায়ুতে এবং ভূপৃষ্ঠে অনেক তেজঃক্রিয় (Radio-active) পদার্থ থাকে। এই সকল পদার্থের বিকিরণ (radiation) হইতে বায়ুমণ্ডলে তড়িতের সঞ্চার হয়। এই সকল কারণে বায়ুমণ্ডলে গ্যাস এবং বাষ্পকণা ও অতিক্ষুদ্র জলকণা বিভিন্ন আধানে আহিত হয়। এই আহিত ক্ষুদ্র ক্ষুদ্র জলকণাগুলি একসঙ্গে মিশিয়া বড় জলকণা গঠন করে। প্রত্যেক জলকণার বিভব বাড়িতে

থাকে। এইরূপ তড়িতাহিত জলকণা মেঘ গঠন করে। সুতরাং বিভিন্ন অবস্থায় উৎপন্ন মেঘগুলি দুইপ্রকার তড়িতে আহিত হয়। ইহা ব্যতীত বায়ু ও বাষ্পকণার মধ্যে পারস্পারিক ঘর্ষণের ফলে মেঘে প্রচুর পরিমাণে তড়িৎ উৎপন্ন হইতে পারে।

৭৭। **বিদ্যুৎ চমকানো ও বজ্রপাত :** দুই খণ্ড তড়িতাহিত মেঘের মধ্যে কিংবা একখণ্ড মেঘ ও ভূপৃষ্ঠের মধ্যে উচ্চ বিভব-পার্থক্য থাকিলে এবং উহারা কাছাকাছি আসিলে উহাদের তড়িৎ মোক্ষণ হয়। এই মোক্ষণের সময় আকাশে বিরাট আকারে অগ্নিস্ফুলিঙ্গ দেখা যায। ইহাকেই **বিদ্যুৎ চমকানো** বলে। বিদ্যুৎ চমকাইবার সময় দুই মেঘের মধ্যস্থিত বায়ুমণ্ডল হঠাৎ উত্তপ্ত ও প্রসারিত হইয়া পড়ে। এই প্রসারণের ফলে পার্শ্ববর্তি বায়ুমণ্ডল শীতল ও সঙ্কুচিত হইয়া পড়ে। ইহাতে আংশিক শূন্যতা সৃষ্ট হয়। সুতরাং পার্শ্ববর্তি স্থান হইতে বায়ু প্রচণ্ড বেগে এই শূন্য স্থানে প্রবাহিত হয়। বায়ুর আকস্মিক প্রসারণের ও সঙ্কোচনের জন্য বিকট শব্দের সৃষ্টি হয়। ইহাকেই **বজ্রধ্বনি** বা **মেঘ গর্জন** বলে। মেঘে তড়িতাধান খুব বেশী হইলে তাহার প্রভাবে পৃথিবী পৃষ্ঠে আবেশে বিপরীত আধানের সৃষ্টি হইতে পারে। এইরূপ ক্ষেত্রে মূল আধান ও আবিষ্ট আধানের পারস্পরিক আকর্ষণে তড়িৎ-মোক্ষণ ও বজ্রপাত হয।

৭৮। **বিদ্যুৎ পরিবাহী** (Lightning Conductor): বড় বড় অট্টালিকাকে বজ্রপাত হইতে রক্ষা করিবার জন্য বিদ্যুৎ-পরিবাহীকে ব্যবহার করা হয়। ইহাদিগকে **বজ্রনিবারক** ও (Lightning Arrester) বলে। যখন এক খণ্ড মেঘ ভূ-পৃষ্ঠে বিপরীত আধান আবিষ্ট করে তখন এই আবেশ ক্ষেত্রে গাছ বা বাড়ীর চূড়া থাকিলে ইহাদের মধ্য দিয়া তড়িৎ মোক্ষিত হয়। সেইজন্য বাড়ী বা বৃক্ষ ক্ষতিগ্রস্থ হয়। কোন মানুষ বজ্রাহত হইলে তৎক্ষণাৎ তাহার মৃত্যু ঘটে। সেইজন্য একটি প্রবাদ বাক্য আছে, "যদি তুমি আকাশে বিদ্যুৎ চমকানো দেখ তবে তোমার মৃত্যুর ভয় থাকে না।" কারণ তুমি বজ্রাহত হইলে বিদ্যুৎ চমকানো দেখিবার পূর্বেই তোমার মৃত্যু হইবে।

বজ্র নিবারকে বাড়ীর ছাদের উপর হইতে মাটি পর্যন্ত একটি দীর্ঘ চওড়া

(flat) ধাতব পাত লম্বভাবে আঁটা থাকে। সাধারণতঃ ইহা দস্তা মাখান (galvanised) লোহা বা তামার তৈরী হয়। দণ্ডের শীর্ষভাগ কয়েকটি সূক্ষ্ম বিন্দুতে শেষ হয় এবং নিম্ন ভাগ মাটির ভিতরে প্রোথিত এক খণ্ড বড় ধাতব পাতের সঙ্গে সংযুক্ত থাকে। মনে কর +আধান যুক্ত এক খণ্ড মেঘ কোন বাড়ীর বজ্রনিবারকের উপর দিয়া ভাসিয়া যাইতেছে। মেঘের +আধানের আবেশের জন্য বজ্র নিবারকে −আধানের উৎপত্তি হয় এবং বজ্রনিবারকের সূক্ষ্ম বিন্দু দিয়া আধান স্বতঃ নির্গত (leak) হয়। পার্শ্বস্থ বায়ু কণাগুলি −আধান যুক্ত হইয়া মেঘের দিকে ধাবিত হয়। ইহাতে মেঘের কিছু + আধান প্রশমিত হয়। ইহাতে বজ্রপাত নিবারিত হয়। এমন কি যদিও তড়িৎ স্ফুলিঙ্গ দেখা যায় তবুও ইহা ধাতব পাতের মধ্য দিয়া সহজ পথে বরাবর মাটিতে চলিয়া যায়।

প্রশ্ন

1. Explain the action of an electrophorus. (C. U. 1913., '16,'11,'21,'23,'26,'28,'42,'44 , Pat. 1925,'29 ; All. 1928 ; Dac. 1932).

2. What are the changes occurring in the potential of the upper disc of the electrophorus during the process of charging ? (C. U. 1942).

3. Describe the ordinary electrophorus and the method of charging a conductor by means of it, explaining how the energy of the charge on the conductor is obtained. Why is there a limit to the amount of charge that can be given to an insulated conductor by the electrophorus ?

(Pat. 1930 ; Cf. C. U.'38,'44.)

4. Show how many amount of charge can be drawn from the electrophorus, when once excited, without violating the principle of conservation of energy.

(C. U. 1932. Cf. '28 ; A. U, '20 : Pat 1932)

5. Describe with neat sketches the parts and working of a Wimshurst machine. What is the function of the Leyden jar in it ? (Pat. 1936,'28 , Cf . 22,' 27,' 31 ; C. U. 1937).

6. Describe and explain the action of an induction machine. (C. U. 1935)

7. Explain why a conductor, which is required to retain an electric charge for a long time, should be rounded and without sharp points ? (C. U. 1925).

8. What is meant by "striking by lightning" ? How are the high buildings protected against it ? (All. 1928,' 31 : Pat. 1929,' 31,' 33 ; C. U. 1935).

9. Explain--'There is a common saying that if you see the flash of lightning you are safe'. (C. U. 1924).

সপ্তম খণ্ড

চল-বিদ্যুৎ (Current Electricity)

কোষ (Cells)

১। **তড়িৎ প্রবাহ** (Electric Current) : আমরা পূর্বে দেখিয়াছি যে বিভিন্ন বিভবযুক্ত দুইটি অন্তরিত ও আহিত পরিবাহীকে তামার তার দিয়া সংযোজিত করিলে উচ্চ বিভব হইতে +আধান তারের মধ্য দিয়া নিম্ন বিভবের দিকে প্রবাহিত হয় যতক্ষণ না উহাদের বিভব সমান হয়। দুইটি পরিবাহীর মধ্যে এইরূপ তারের মধ্য দিয়া আধানের প্রবাহকে **তড়িৎ প্রবাহ** বলে। স্থির-বিদ্যুতে তড়িৎ প্রবাহ ক্ষণিকের জন্য স্ফুলিঙ্গরূপে দেখা যায় কারণ অতি অল্প সময়েই দুইটি পরিবাহীর বিভব সমান হয়। কিন্তু যদি আমরা কোন ব্যবস্থার দ্বারা দুইটি পরিবাহীর বিভব পার্থক্য সর্বদাই সমান রাখিতে পারি তবে আমরা একটি নিরবচ্ছিন্ন সমান মাত্রার তড়িৎ প্রবাহ পাইতে পারি। অতএব তড়িৎ প্রবাহের জন্য নিম্নলিখিত সর্ত থাকা প্রয়োজন :—

(ক) দুইটি তড়িতাহিত বস্তু ; (খ) উহাদের মধ্যে সর্বদাই সমান বিভব পার্থক্য, (গ) দুই পরিবাহী সংযোজক একটি পরিবাহী মাধ্যম যথা ধাতব তার। আধুনিক মতবাদ অনুসারে নিম্নতর বিভব হইতে উচ্চতর বিভবে ঋণাত্মক আধানযুক্ত ইলেকট্রোন কণার নিরবচ্ছিন্ন গতিকে তড়িৎ প্রবাহ বলে।

যদি আধানের পরিমাণ $=Q$, তড়িৎ প্রবাহ $=I$, প্রবাহের সময় $=t$ সেকেণ্ড হয় তবে $I=\frac{Q}{t}$.

২। **গ্যাল্‌ভ্যানির (Galvani) আবিষ্কার :** ১৭৮৬ খৃষ্টাব্দে ইটালির শারীরবিদ গ্যাল্‌ভ্যানি লোহার দণ্ড সংলগ্ন পিতলের হুক হইতে বিলম্বিত ছাল-ছাড়ান ব্যাঙ লইয়া পরীক্ষা করিবার সময় হঠাৎ একদিন দেখেন যে বায়ুতে

তুলিয়া যতবার ব্যাঙের পা লোহার দণ্ড স্পর্শ করে ততবার ব্যাঙের পেশী হঠাৎ ভীষণভাবে সংকুচিত হয়। এই পরীক্ষা হইতে তিনি সিদ্ধান্ত করেন যে মরা ব্যাঙের মাংসপেশীতে ও নার্ভে এক প্রকার Vital Fluid থাকে। দুইটি মাংসপেশী তারের দ্বারা সংযোজিত হইলে Vital Fluid এক অংশ হইতে অন্য অংশে প্রবাহিত হয়। ইহাতে তড়িতের উৎপত্তি হয়। পাঁচ-ছয় ফুট দীর্ঘ তড়িৎবাণ মাছের (electric eel) দেহে তড়িৎ-যন্ত্র থাকে। ইহা ৩০০ ভোল্ট তড়িৎ বিভব সৃষ্টি করিতে পারে।

৩। **ভোল্টার ব্যাখ্যা** (Explanation by Volta): ১৮০০ খৃষ্টাব্দে ইটালিয় পদার্থবিদ্ ভোল্টা উপরোক্ত প্রাকৃতিক ঘটনা এইরূপ প্রমাণ করেন যে ব্যাঙের শরীরে কোন তড়িৎ থাকে না। দুইটি বিভিন্ন ধাতুর সংস্পর্শের কারণে উপরোক্ত বিভেদ-পার্থক্য তথা তড়িৎ প্রবাহের সৃষ্টি হয়। ব্যাঙের দেহ পরিবাহীর কাজ করে। ভোল্টার মতে দুইটি বিভিন্ন ধাতু স্পর্শ করিলেই উহারা বিপরীত আধানে আহিত হইবেই। দুই স্পর্শ বিন্দুর মধ্যে বিভব-পার্থক্য থাকিবেই। ইহাকে ভোল্টার **বিভবের স্পর্শ-বাদ** (Contact theory of potential) বলে। ঘনীকারক তড়িৎবীক্ষণ (Condensing Electroscope) দ্বারা তিনি এই বাদ প্রমাণ করেন।

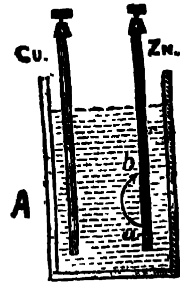
৪। **ভোল্টীয় স্তূপ** (Pile): কতকগুলি যুগ্ম কপার ও জিঙ্কের পাতের মধ্যে আম্লিক জলসিক্ত একখণ্ড ন্যাকড়া রাখিয়া। সর্বোপরি জিঙ্ক পাত ও সর্বনিম্ন কপার পাত তার দিয়া সংযুক্ত করিলে বিভব-পার্থক্য ও তড়িৎ প্রবাহ সৃষ্টি হয়। ইহাকে **ভোল্টীয় স্তূপ** বলে।

৫। **বিভবের স্পর্শ-পার্থক্য:** (Contact Difference of Potential): ভোল্টার মতে দুইটি বিভিন্ন ধাতুর স্পর্শ-বিন্দুতে বিভব পার্থক্য থাকে। পরে প্রমাণ হয় যে কেবল দুইটি কঠিন স্পর্শ করিলেই বিভব-পার্থক্য হয় না। একটি কঠিনের ও একটি তরল পরিবাহীর স্পর্শ-বিন্দুতে বিভব-পার্থক্য দেখা যায়। প্রকৃতপক্ষে দুই বিভিন্ন পরিবাহীর স্পর্শতলে (interface) বিভেদ-পার্থক্য ক্রিয়া করে।

নিম্নে ধাতু ও অম্লের নরম্যাল দ্রবণের মধ্যের স্পর্শতলে বিভব-পার্থক্য দেওয়া হইল :—

ধাতু	H_2SO_4	HCl	ধাতু	H_2SO_4	HCl
দস্তা	−০'৬২	−০'৫৪	পারদ	+০'৮৬	+'০৫৭
তামা	+০'৪৬	+০'৩৫	রূপা	+০'৭৩	+০'৫৭
			ক্যাডমিয়াম	−০'২২	−০'২৪.

৬। **সরল ভোল্টীয় কোষ** (Simple Voltaic Cell) : (ক) **যন্ত্র** : এই যন্ত্র দিয়া অতি সহজে তড়িৎ প্রবাহ পাওয়া যায়। একটি কাচপাত্র A তে পাতলা (dilute) সালফিউরিক অম্লের মধ্যে একটি তামার (Copper) পাত Cu ও একটি দস্তার (Zinc) পাত Zn বিচ্ছিন্ন ভাবে আংশিক ডুবান থাকে। দুই পাতের বাহিরের অংশ ধাতব তার CD দিয়া যোগ করিলে কোষের বাহিরে তামা হইতে দস্তার দিকে এবং কোষের ভিতরে দস্তা হইতে তামার দিকে অনবরত তড়িৎ প্রবাহ চলে। কোষের ভিতর এই রাসায়নিক ক্রিয়া হয় : $Zn+H_2SO_4=ZnSO_4+H_2$,। এই রাসায়নিক ক্রিয়া দ্বারা দুই পাতের মধ্যে বিভব-পার্থক্য সৃষ্ট হয় এবং তড়িৎ প্রবাহ চলে।



৪২ নং চিত্র—সরল কোষ ও স্থানীয় ক্রিয়া

(খ) **তড়িৎ প্রবাহের ব্যাখ্যা** : H_2SO_4 অম্লে তামার পাত ডুবাইলে তামার পরমাণুর ইলেকট্রোন অম্লে গমন করে। তামার পাত + আধানে আহিত হয় এবং তামা ও অম্লের ভিতর + '৪৬ বিভব-পার্থক্য থাকে। H_2SO_4 অম্লে দস্তার পাত ডুবাইলে দস্তার পাত − আধানে আহিত হয় এবং দস্তা ও অম্লের মধ্যে −০'৬২ বিভব-পার্থক্য থাকে। সুতরাং দ্রবণে দস্তা ও তামার পাতের মধ্যে বিভব-পার্থক্য = ০'৪৬ − (−০'৬২) = ১'০৮ ভোল্ট হয়। দুই পাতের মধ্যে বিভব-পার্থক্যকে **তড়িচ্চালক বল** (Electromotive Force বা E. M. F.) বলে। এই তড়িচ্চালক বলই তড়িৎ প্রবাহের কারণ। তামার পাত উচ্চ বিভবে এবং দস্তার পাত নিম্ন বিভবে থাকে। সুতরাং

দুই পাতকে তার দিয়া যোগ করিলে তামার পাত হইতে + আধান দস্তার পাতে প্রবাহিত হয়।*

ইহার ফলে দুই পাতের মধ্যে বিভব-পার্থক্য কমিতে চেষ্টা করে। এই বিভব-পার্থক্য বজায় রাখিবার জন্য আরও দস্তার আয়ন দ্রবীভূত হয়। $Zn^{++} + H_2SO_4 = ZnSO_4 + 2H^+$। প্রত্যেক Zn আয়ন দ্রবীভূত হইলে দুইটি H^+ আয়ন তড়িৎ ক্ষেত্রের জন্য তামার পাতের দিকে সরিয়া যায় এবং তামার পাতে +আধান দিয়া গ্যাস বুদ্‌বুদ্‌ রূপে উত্থিত হয়। +আধান তারের মধ্য দিয়া দস্তার পাতে চলিয়া যায়। ইহাতে বিভব-পার্থক্য কমে। আবার বিভবের ঘাটতি পূরণ করিবার জন্য আরও Zn আয়ন দ্রবণে চলিয়া যায়। অর্থাৎ যেমন তড়িৎ প্রবাহ চলিতে থাকে দস্তাও দ্রবীভূত হয়।

৬। **কোষে শক্তির উৎস:** কোষের ভিতরের রাসায়নিক ক্রিয়া কোষের শক্তি সরবরাহ করে। এই রাসায়নিক শক্তি আধানকে নিম্ন বিভব হইতে উচ্চ বিভবে লইয়া যায়। ইহাতে আধানের তাড়িৎ-স্থৈতিক-শক্তি বাড়ে। সরল কোষে দস্তা H_2SO_4এ দ্রবীভূত হইয়া $ZnSO_4$ গঠন করে। ইহাতে তাপ উদ্ভূত হয়। আবার যখন H_2 ও $CuSO_4$ ক্রিয়ান্বিত হয় তখন তাপ শোষিত হয়। কিন্তু শোষিত তাপ অপেক্ষা উদ্ভূত তাপ বেশী হয়। এই অতিরিক্ত তাপশক্তি নিম্ন বিভব হইতে উচ্চ বিভবে আধান লইয়া যায়।

৭। **তড়িৎ বর্তনী** (Electric Circuit): সরল কোষে তামার পাতকে **ধনাত্মক মেরু** (positive pole) এবং দস্তার পাতকে **ঋণাত্মক মেরু** (negative pole) বলে। দুই মেরুকে তার দিয়া যোগ করিলে তড়িতের পথকে **সম্পূর্ণ** (complete) **বর্তনী** বলে। তারের মধ্য দিয়া পথকে **বহির্বর্তনী** (external circuit) এবং কোষের ভিতর তরলের মধ্য দিয়া পথকে **অন্তর্বর্তনী** (internal circuit) বলে। বহির্বর্তনীতে তড়িৎ ধনাত্মক

*আধুনিক ইলেকট্রনীয় মত অনুসারে ঋণাত্মক দ্বার হইতে ধনাত্মক দ্বারে ইলেকট্রনের গতিকে তড়িৎ প্রবাহ বলে কিন্তু উচ্চ বিভব হইতে নিম্ন বিভবে + আধানের গতিকে তড়িৎ প্রবাহ বলা প্রচলিত নিয়ম চলিয়া আসিতেছে। আমরা এই পুস্তকে শেষোক্ত পদ্ধতি অবলম্বন করিব।

হইতে ঋণাত্মক মেরুর দিকে এবং অন্তর্বর্তনীতে ঋণাত্মক হইতে ধনাত্মক মেরুর দিকে প্রবাহিত হয়। দুই মেরু তার দিয়া সংযুক্ত হইলে বর্তনীকে **সংহত** (closed) **বর্তনী** বলে। কেবল এই অবস্থায় তড়িৎ প্রবাহিত হয়। দুই মেরুর মধ্যে কোন সংযোগ না থাকিলে বর্তনীকে **খণ্ডিত** (open) বর্তনী বলে। কেবল এই অবস্থায় কোন তড়িৎ প্রবাহিত হয় না। বর্তনীর যে কোন স্থানে প্রবাহ মাত্রা (current strength) সমান হয়। যে কোন কোষে খণ্ডিত বর্তনীতে + ও − মেরুর মধ্যের বিভেদ-পার্থক্য = তড়িচ্চালক বল। সংহত বর্তনীতে কোষের তড়িচ্চালক বল = কোষের বাহিরের বিভেদ-পার্থক্য + ভিতরের বিভেদ-পার্থক্য। যেমন সরল কোষের তড়িচ্চালক বল = দস্তা − অম্লের বিভেদ-পার্থক্য + তামা-অম্লের বিভেদ-পার্থক্য

৮। **সরল ভোল্টীয় কোষের ত্রুটি ও প্রতিকার** (Defects of the simple cell and thier remedies): সরল কোষের **তিনটি ত্রুটির** জন্য তড়িতের মাত্রা কমিয়া যায়:

(ক) **রাসায়নিক ক্রিয়ার ঘাটতি:** দস্তা H_2SO_4 অম্লে দ্রবীভূত হইযা $ZnSO_4$ গঠন করে। যতই দস্তা দ্রবীভূত হয় ততই H_2SO_4 প্রশমিত হয় এবং রাসায়নিক ক্রিয়া ততই কমিয়া যায় এবং তড়িতের মাত্রা ততই কমিয়া যায়। **প্রতিকার:** এই ত্রুটি প্রতিকারের জন্য মধ্যে মধ্যে কোষে H_2SO_4 অম্ল ও দস্তা যোগ করিতে হয়।

(খ) **স্থানীয় ক্রিয়া** (Local action): বাজারে প্রাপ্ত (commercial) দস্তায় নানারকম খাদ (যথা লোহার, কারবনের, আরসে নিকের, সিসার কণা) থাকে। সুতরাং, সরল কোষের দস্তার পাতে এই সকল খাদ থাকিয়া যায়। এই সকল বিভিন্ন খাদের কণা, দস্তার পাত ও H_2SO_4 অম্ল দস্তার উপরে বহু ছোট ছোট (miniature) স্থানীয় (local) কোষ সৃষ্টি করে। এই সকল ছোট কোষের জন্য দস্তার পাতের উপরই স্থানীয় তড়িৎ প্রবাহের (local current) সৃষ্টি হয়। (৪২ নং চিত্রে দস্তার পাতে a হইতে bতে স্থানীয় প্রবাহ দেখান হইয়াছে)। এই স্থানীয় প্রবাহ বর্তনী সংহত বা খণ্ডিত থাকিলে দুই অবস্থাতে উৎপন্ন হয়। ইহাতে দস্তার পাত ক্ষয়প্রাপ্ত হয় এবং মূল

প্রবাহ ব্যাহত হয়। এই স্থানীয় প্রবাহের জন্য H^+ আয়ন দস্তার পাতে +আধান দিয়া H গ্যাস রূপে বাহির হয়।

পরীক্ষাঃ শুধু অপরিষ্কার দস্তার দণ্ড পাতলা H_2SO_4 অম্লে ডুবাও। স্থানীয় প্রবাহের জন্য দস্তার পাতে H_2 গ্যাস বাহির হইতে দেখা যায়। ইহা স্থানীয় ক্রিয়ার অস্তিত্ব প্রমাণ করে।

প্রতিকারঃ দুই উপায়ে ইহার প্রতিকার হয়ঃ

(১) বিশুদ্ধ দস্তা ব্যবহার করিলে স্থানীয় ক্রিয়া হয় না। কিন্তু বিশুদ্ধ দস্তার দাম বেশী।

(২) **দস্তায় পারদ-মিশ্রণ** (amalgam)ঃ প্রথমে দস্তার পাতকে পাতলা H_2SO_4 বা HCl দ্বারা ধৌত করিয়া পরিষ্কার পারদ দিয়া ঘষিতে হয়। পারদ কেবল দস্তাকে দ্রবীভূত করে। কিন্তু খাদগুলিকে দ্রবীভূত করে না। সুতরাং দস্তার পাতের উপর পারদ ও দস্তার মিশ্রণ থাকে। অদ্রাব্য খাদগুলি পারদের স্তরের ভিতরে থাকে সেইজন্য অম্লের সহিত খাদের কোন ক্রিয়া হয় না এবং কোন স্থানীয় প্রবাহের উৎপত্তি হয় না। রাসায়নিক ক্রিয়ার পরেই খাদগুলি আল্‌গা হইয়া নীচে পড়িয়া যায়। পারদের উপর অম্লের কোন ক্রিয়া হয় না। দস্তার উপর পারদের প্রলেপকে **পারদ সংকর** (amalgam) বলে।

(গ) **ছদন** (Polarisation)ঃ তড়িৎ প্রবাহিত হইতে থাকিলে রাসায়নিক ক্রিয়ায় উৎপন্ন H_2 গ্যাস তামার পাতের উপর জমিয়া একটি পাতলা স্তর গঠন করে। তামার পাতের উপর H_2 গ্যাসের স্তর গঠনকে **ছদন** বলে। ছদন তিন প্রকারে তড়িৎ প্রবাহের মাত্রা কমাইয়া দেয় এমন কি শেষকালে প্রবাহ বন্ধ করিয়া দেয়ঃ—(ক) যখন দস্তা ও তামার পাত বাহিরে তার দিয়া যোগ করা হয় তখন H^+ আয়ন তামার পাতের কাছে সরিয়া আসে. H^+আয়ন তামার পাতে +আধান দিয়া H_2 গ্যাসের বুদ্‌বুদ হইয়া বাহির হইয়া যায়। এইরূপে তামার পাতের উপর কিছু তড়িৎ নিরপেক্ষ H_2 গ্যাসের স্তর জমিয়া যায়। গ্যাস তড়িৎ কুপরিবাহী সুতরাং H_2 স্তরের প্রশস্ততা যত বাড়ে তত তড়িৎ প্রবাহের প্রতিরোধ (resistance) বাড়িয়া যায়, তড়িৎ প্রবাহের মাত্রা কমিয়া যায়। (খ) যতই রাসায়নিক ক্রিয়া বাড়িতে থাকে

ততই H^+ আয়ন বেশী পরিমাণে H_2 গ্যাসের স্তরের উপর জমে। তামার পাত ও H^+ আয়নের মধ্যে অবস্থিত H_2 গ্যাসের স্তর তড়িৎ অপরিবাহী বলিয়া নবাগত H^+ আয়ন তামার পাতের উপর + আধান দিতে পারে না। ইহাতে তড়িতের মাত্রা কমিয়া যায়। (গ) এই H^+ আয়ন দস্তার পাতের সম্পর্কে তড়িৎ ধনাত্মক হয়। সুতরাং H^+ আয়ন ও দস্তার পাতের মধ্যে একটি তড়িৎ ক্ষেত্র সৃষ্ট হয়। অর্থাৎ যে H^+ আয়নগুলি তামার পাতের অভিমুখে আসে সেগুলি পূর্ববর্তি H^+ আয়ন দ্বারা বিকর্ষিত হইয়া দস্তার পাতের দিকে চলিয়া যায়। সুতরাং কোষের মধ্যে একটি **বিপরীত তড়িচ্চালক বলের** (Back Electromotive Force) সৃষ্টি হয়। ইহাতে বিপরীত দিকে তড়িৎ প্রবাহ ঘটে। এমন অবস্থা আসে যখন বিপরীত তড়িচ্চালক বল মূল তড়িচ্চালক বলের সমান হয় তখন কোন H^+ আয়ন তামার পাতের দিকে আসে না এবং মূল প্রবাহ বন্ধ হয়।

পরীক্ষা: (ক) একটি সবল কোষে তামা ও দস্তার মধ্যে বিভেদ পার্থক্য একটি তিন-ভোল্ট পরিসরের (range) ভোল্টমিটারের সাহায্যে সূক্ষ্মভাবে মাপা হইল। দস্তা ও তামার পাত তার দিয়া যোগ কর। কিছুক্ষণ বাদে ভোল্টমিটারের সাহায্যে মাপিলে বিভেদ-পার্থক্য কমিতে দেখা যায়। (খ) তড়িৎ কোষের সঙ্গে তড়িৎ ঘণ্টা সংযোগ করিলে ঘণ্টার শব্দ ক্রমে ক্ষীণ হইয়া বন্ধ হইয়া যায়। তামার পাতটি তুলিয়া লইয়া উহাকে H_2র বুদ্‌বুদ্ মুক্ত করিলে ঘণ্টা আবার বাজিবে। (ঘ) H_2 গ্যাস $ZnSO_4$কে বিশ্লিষ্ট করে। ইহাতে তামার পাতের উপর Zn জমে। ইহাতে তড়িৎ মাত্রা কমিয়া যায়।

প্রতিকার: (ক) **যান্ত্রিক** (Mechanical) **উপায়:** মধ্যে মধ্যে তামার পাতকে কোষ হইতে বাহির করিয়া H_2 গ্যাসের বুদ্‌বুদ্‌কে ব্রাস দিয়া তাড়াইয়া দেওয়া হয়। অনেক সময় তামার পাতের উপর তল অমসৃণ করা হয়। ইহাতে H_2 গ্যাসের বুদ্‌বুদ্ জমে না। এই উপায় সুবিধাজনক নহে।

(খ) রাসায়নিক (Chemical) **উপায়:** H_2কে কোন জারক দ্রব্য ($K_2Cr_2O_7$, HNO_3 ও MnO_2) দ্বারা জলে পরিণত করা হয়; যথা বাইক্রোমেট কোষ।

(গ) তড়িৎ রাসায়নিক (Electro Chemical) **উপায় :** এই উপায়ে দুইটি দ্রবণ ব্যবহার করা হয় যাহাতে হাইড্রোজেন দ্বিতীয় দ্রবণের সংস্পর্শে আসিলে হয় ধনাত্মক পাত যে ধাতুতে গঠিত সেই ধাতুর পরমাণু মুক্ত হয় (ডেনিয়েল কোষ) কিংবা অন্য কোন গ্যাস মুক্ত হয় যাহাতে ছদন ক্রিয়া হয় না। যে রাসায়নিক দ্রব্যের সাহায্যে ছদন ক্রিয়া বন্ধ হয় তাহাকে **ছদন নিবারক** (Depolariser) বলে।

তড়িৎ বিশ্লেষ (Electrolyte) **:** যে তরলের (fluid) মধ্য দিয়া তড়িৎ প্রবাহিত হয় তাহাকে **তড়িৎ বিশ্লেষ** বলে। যে কোষে একটি তরল থাকে তাহাকে **এক তরল** (One fluid or single electrolyte) কোষ এবং যে কোষে দুইটি তরল থাকে তাহাকে **দুই তরল** কোষ বলে।

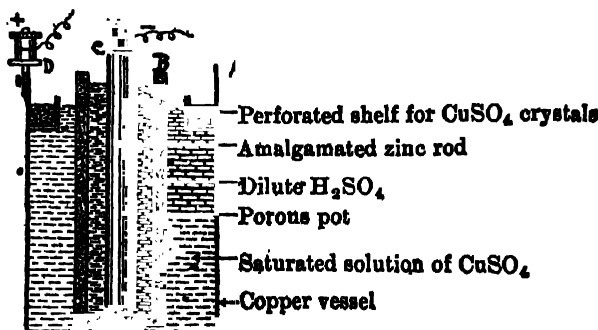
৯। **মৌল কোষ** (Primary Cell) **:** মৌল কোষে ভোল্টীয় কোষের দুইটি ত্রুটি অপনোদন করা হয়। ইহাতে তিনটি পদার্থ থাকে, যথা (ক) ধনাত্মক ও ঋণাত্মক পাত। (খ) স্পর্শজাত বিভব-পার্থক্য সৃষ্টি করিবার জন্য তড়িতোত্তেজক তরল (exciting liquid)। (গ) ছদন নিবারক কোন দ্রব্য। দস্তার পাতে পারদের প্রলেপ থাকে।

১০। **মৌল কোষের বিভাগ :** তড়িৎ বিশ্লেষ অনুসারে কোষগুলিকে দুইভাগে বিভক্ত করা হয় ; যথা (ক) **এক তরল কোষ** যথা **লেক্লান্স** (Leclanches) **কোষ ও বাইক্রোমেট** (Bichromate) **কোষ :** (খ) **দুই তরল কোষ** যথা **ডেনিয়েল** (Daniell), **বুনসেন** (Bunsens), **গ্রোভ** (Grove) ইত্যাদি কোষ

১১। **বিভিন্ন কোষের বর্ণনা** (১) **দুই তরল কোষ :** (ক) **ডেনিয়েল কোষ : যন্ত্র** (i) বাহিরের একটি তামার A পাত্রে তুঁতের ($CuSO_4$) সংপৃক্ত দ্রবণ থাকে। দ্রবণকে সব সময়ে সংপৃক্ত রাখার জন্য তামার পাত্রের উপর দিকে সছিদ্র (porous) P ও Q তাকে (shelf) তুঁতের কেলাস থাকে। তাক দুইটি $CuSO_4$ দ্রবণে আংশিক ডুবান থাকে। তুঁতের দ্রবণ ছদন নিবারকের কাজ করে। তামার পাত্র ধনাত্মক পাতের কাজ করে। (ii) ভিতরের সছিদ্র মৃণ্ময় অমসৃণ (unglazed) পাত্র Bতে

পাতলা H_2SO_4 ও তাহার মধ্যে পারদ প্রলেপযুক্ত দস্তার ঋণাত্মক পাত থাকে। পাতলা H_2SO_4 তড়িৎদ্রাবক তরলের কাজ করে। দস্তার পাত নিম্ন বিভব এবং তামার পাত্র উচ্চ বিভবে থাকে। (iii) তামার পাত্রে ও দস্তার পাতে যোজক স্ক্রু (binding screw) আটকান থাকে।

রাসায়নিক ক্রিয়া : দস্তা H_2SO_4 অম্লের সহিত ক্রিয়া করিয়া ধনাত্মক H_2 আয়ন মুক্ত করে। $Zn^{++}+H_2SO_4=ZnSO_4+2H^+$ (ক); এই মুক্ত দুইটি H^+ আয়ন সছিদ্র B পাত্রের মধ্য দিয়া তাড়াতাড়ি ব্যাপিত (diffused) হয় এবং A পাত্রের $CuSO_4$ এর সঙ্গে ক্রিয়া করিয়া উদাসীন H_2SO_4 অণু গঠন করে এবং Cu^{++} আয়ন মুক্ত হয়: $2H^+ + CuSO_4 = H_2SO_4 + Cu^{++}$ (খ) ; এখানে $CuSO_4$ দ্রবণ $H_2{}^+$ আয়নকে সরাইয়া এই Cu^{++} আয়ন তামার পাতে যাইয়া + আধান দিয়া দেয়। তামার পাতে



৪৩ নং চিত্র—ড্যানিয়েল কোষ

হাইড্রোজেনের পরিবর্তে তামারই প্রলেপ লাগে। ইহাতে ছদন ক্রিয়া বন্ধ হয়। দস্তার পাত ও তামার পাত্র তার দিয়া যোগ করিলে তারের মধ্য দিয়া তামা হইতে দস্তার দিকে তড়িৎ প্রবাহ চলে। Zn^{++} আয়ন $SO_4{}^{--}$ আয়নের সহিত সংযোগের ফলে দস্তার পাত—আধানযুক্ত হয়।

(ক) ও (খ) দুই রাসায়নিক ক্রিয়া হইতে কোষের শক্তি সরবরাহ হয়।

ড্যানিয়েল কোষের সুবিধা : (i) কোষে স্থানীয় ক্রিয়া বা ছদন ক্রিয়া হয় না এবং $CuSO_4$ দ্রবণের মাত্রা অপরিবর্তিত থাকে সুতরাং

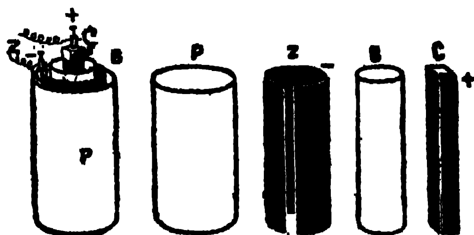
কোষের E. M. F. ও তড়িৎ প্রবাহ নিত্য (constant) থাকে। ইহার E. M. F = ১'০৮ ভোল্ট। ইহা তুলনামূলক কোষ রূপে ব্যবহৃত হয়।

(ii) ইহা কিছুক্ষণের জন্য ক্ষীণ নিত্য প্রবাহ সরবরাহ করে।

অসুবিধা: (i) কার্য্যতঃ দেখা যায় যে তামার পাত্র ক্ষয়প্রাপ্ত হয়। সেইজন্য বাহিরে কাচপাত্র বা মৃণ্ময় পাত্র ব্যবহার করা হয় এবং চোঙাকৃতি তামার পাত ব্যবহার করা হয়।

(ii) অব্যবহৃত অবস্থায় কোষের মধ্যে সছিদ্র B পাত্র রাখিয়া দিলে $CuSO_4$ এর অণুগুলি ছিদ্র পথে আসিয়া $ZnSO_4$ অণুর সহিত ক্রিয়া করে। ইহার ফলে Cu পরমাণু দস্তার উপর ন্যস্ত হয় সেইজন্য স্থানীয় ক্রিয়ার উদ্ভব ঘটে। সুতরাং অব্যবহৃত অবস্থায় B পাত্রকে পৃথক রাখা উচিৎ। (iii) কোষকে পুনর্সজ্জিত করিলে অর্ধ ঘণ্টা পরে ১'০৮ ভোল্ট E. M. F উৎপন্ন হয়।

(খ) বুনসেন কোষ : যন্ত্র : (i) বাহিরে চোঙাকৃতি পোর্সলেন পাত্র Pতে পাতলা H_2SO_4 থাকে। (ii) P পাত্রের ভিতর সছিদ্র চোঙ Bতে তীব্র HNO_3 থাকে। (iii) B চোঙের ভিতরে কারবন দণ্ড C আংশিক ডুবান থাকে। (iv) পারদ মিশ্রিত চোঙাকৃতি Z দস্তার পাত P পাত্রের মধ্যে



৪৪ নং চিত্র—বুনসেন কোষ

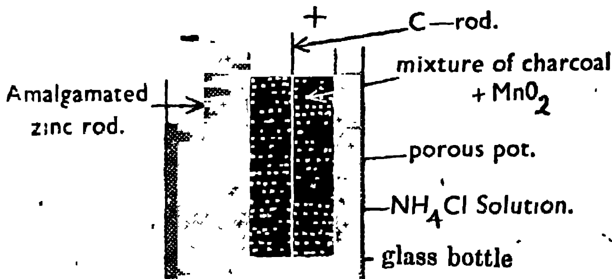
B চোঙের চারিপাশে বসান থাকে। (v) কারবন দণ্ড ও দস্তার চোঙে যোজক স্ক্রু বাঁধা থাকে। (vi) দস্তা নিম্ন বিভবে এবং কারবন উচ্চ বিভবে থাকে। তড়িতোত্তেজক তরল হইল H_2SO_4, ছদন-নিবারক হইল তীব্র HNO_3।

ক্রিয়া: দস্তা ও H_2SO_4 এ নিম্নলিখিত ক্রিয়া হয়; $Zn^{++} + H_2SO_4 = ZnSO_4 + 2H^+$। H^+ আয়ন সছিদ্র B পাত্রের মধ্য দিয়া ব্যাপিত হইয়া

HNO_3এর উপর ক্রিয়া করে ; $2H^+ + 2HNO_3 = 2H_2O + 2NO_2^+$; NO_2^+ আয়ন কারবন দণ্ডে + আধান দিয়া দেয় এবং NO_2 প্রথমে HNO_3তে দ্রবীভূত হয় পরে দ্রবণ সংপৃক্ত হইলে NO_2 এর গাঢ় পিঙ্গল ধোঁয়া বাহির হয়। NO_2 এর ধোঁয়া স্বাস্থ্যের পক্ষে হানিকর। এই কোষে একটি গ্যাস ধনাত্মক পাতে উদ্ভূত হয় সেইজন্য কিছু ছদন ক্রিয়া হয়। E.M.F = ১'৯ ভোল্ট। তীব্র (strong) প্রবাহের (current) জন্য এই কোষ ব্যবহৃত হয়। অব্যবহৃত অবস্থায় কোষের অংশগুলি পৃথক রাখা হয়।

(গ) **গ্রোভ কোষ ঃ** ইহা বুনসেন কোষের মত, কেবল ইহাতে কারবন দণ্ডের পরিবর্তে প্লাটিনাম পাত থাকে। প্লাটিনামের জন্য ইহার দাম খুব বেশী। কোষের E. M. F = ১ ৯ ভোল্ট।

(২) এক তরল কোষ (ক) লেকলান্স কোষ ঃ যন্ত্র ঃ (i) বাহিরে কাচপাত্রে এ্যামোনিয়াম ক্লোরাইডের (NH_4Cl) তীব্র দ্রবণের একপার্শ্বে পারদমিশ্রিত দস্তার দণ্ড আংশিকভাবে ডুবান থাকে। (ii) কাচ পাত্রের ভিতর অবস্থিত একটি সছিদ্র পাত্রের মাঝখানে কারবন দণ্ড C এবং C দণ্ডের চতুষ্পার্শ্বে MnO_2 ও গ্যাস কারবনের গুড়ার মিশ্রণ গাদা দেওয়া থাকে।

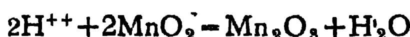


৪৫ নং চিত্র—লেকলান্স কোষ

(iii) এই কোষে দস্তার দণ্ড নিম্ন বিভব পাত এবং কারবন দণ্ড উচ্চ বিভব পাত গঠন করে সুতরাং দস্তার দণ্ড ঋণাত্মক পাত ও কারবন দণ্ড ধনাত্মক পাত। NH_4Cl হইল তড়িতোত্তেজক তরল। MnO_2 ছদন-নিবারক। কার্বনের গুড়ার কাজ হইল MnO_2কে তড়িৎ-পরিবাহী করা।

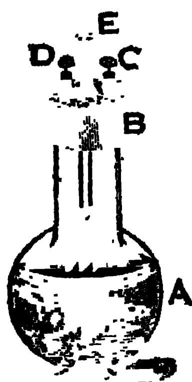
রাসায়নিক ক্রিয়া :—দস্তা এ্যামোনিয়াম্ ক্লোরাইডের উপর ক্রিয়া

করে এবং এ্যামোনিয়া (NH_3) গ্যাস ও হাইড্রোজেন আয়ন উৎপন্ন হয়। $Zn^{++}+2NH_4Cl=ZnCl_2+2NH_3+2H^+$; NH_3 গ্যাস মিশ্রণের মধ্য দিয়া বাহির হইয়া যায় এবং দুইটি H^+ আয়ন ছিদ্রের মধ্য দিয়া ব্যাপিত হইয়া MnO_2 দ্বারা জারিত হয় এবং কারবন পাতে +আধান দেয়।



$$2H^{++}+2MnO_2=Mn_2O_3+H_2O$$

ব্যবহার: এই কোষে ছদন-নিবারক MnO_2 কঠিন পদার্থ বলিয়া উহার রাসায়নিক ক্রিয়া মন্থর হয় সেইজন্য যে অনুপাতে H^+ আয়ন নির্গত হয় সেই অনুপাতে MnO_2 তাহাকে জারিত করিতে পারে না। সুতরাং কোষ কিছুক্ষণ চলিলে H_2 গ্যাস জমিয়া ছদন ক্রিয়ার আবির্ভাব হয়। ইহাতে কোষের E. M. F কমিয়া যায়। সুতরাং কোষকে কিছুক্ষণ রাখিলে সঞ্চিত H^+ আয়ন MnO_2 দ্বারা জারিত হয় এবং কোষের E. M. F পূর্বমানে ফিরিয়া আসে। এই কারণে টেলিগ্রাফ, টেলিফোন, তড়িৎ ঘণ্টায় এই কোষ ব্যবহৃত হয়। এই সকল যন্ত্রে সবিরাম (intermittent) তড়িৎ প্রবাহের দরকার হয়। এই কোষের E. M. F = ১.৪ ভোল্ট। এই কোষের প্রধান সুবিধা হইতেছে যে ইহা অনেক দিন পর্য্যন্ত টিকিয়া থাকে। লেক্‌লান্স কোষের ব্যাটারি দ্বারা কয়েক বৎসর তড়িৎ ঘণ্টা বাজান যায় কেবল মাঝে মাঝে NH_4Clতে একটু জল দিতে হয়। টর্চ লাইটে যে শুষ্ক কোষ ব্যবহার করা হয় তাহা লেক্‌লান্স কোষ।



৪৬ নং চিত্র—বাইক্রোমেট কোষ

✓(খ) **বাইক্রোমেট কোষ যন্ত্র:** (i) এই কোষে একটি কাচপাত্র Aর মাথায় একটি অপরিবাহী দ্রব্যের ঢাক্‌না থাকে। (ii) ঢাকনায় তিনটি ছিদ্র থাকে। দুই পাশের ছিদ্রের মধ্য দিয়া দুইটি কারবন পাত C ও D পাত্রের ভিতর যায়। এই পাত দুইটিকে মাথায় একটি পিতলের টুকরা দিয়া যোগ করা থাকে। কারবন পাত দুইটি একত্রে কোষের উচ্চ বা ধনাত্মক মেরু গঠন করে। (iii) মধ্যের ছিদ্র দিয়া

একটি ধাতব দণ্ড E যায়। E দণ্ডের শেষে পারদ মিশ্রিত দস্তার পাত F থাকে। দস্তার পাত ঋণাত্মক মেরু গঠন করে। যখন কোষ অব্যবহৃত অবস্থায় থাকে তখন F পাতকে তরলের উপর উঠাইয়া রাখা হয়। (iv) A পাত্রের অর্ধেকটা পাতলা H_2SO_4 ও $K_2Cr_2O_7$ মিশ্রণে ভর্তি থাকে। (v) $K_2Cr_2O_7$ ছদন-নিবারক হিসাবে ব্যবহৃত হয়। H_2SO_4 তড়িতোত্তেজক তরল।

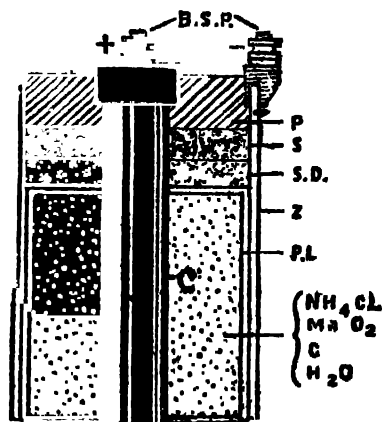
রাসায়নিক ক্রিয়া: (ক) $Zn^{++}+H_2SO_4=ZnSO_4+2H^+$.

(খ) $K_2Cr_2O_7+H_2SO_4+H_2O=2H_2CrO_4+K_2SO_4$

(গ) $6H^++2H_2CrO_4$ (ক্রোমিক অম্ল) $=Cr_2O_3+5H_2O$

(ঘ) $Cr_2O_3+3H_2SO_4=Cr_2(SO_4)_3+3H_2O$

H^+ আয়ন কারবন পাতের উপর + আধান দিয়া দেয় এবং H_2 গ্যাস ক্রোমিক অম্ল দ্বারা জারিত হয়। $K_2Cr_2O_7$ অপেক্ষা $Na_2Cr_2O_7$ বেশী দ্রবণীয় এবং তীব্রতর জারক বলিয়া ইহা ব্যবহার করা হয়। দ্রবণের অনুপাত এইরূপ; জল ১ লিটার, $Na_2Cr_2O_7$ ৭০ গ্রাম, তীব্র H_2SO_4 ১০০ ঘঃ সেঃ মিঃ। উন্নত ধরণের কোষে H_2CrO_4 ব্যবহার করা হয় কারণ ইহাতে ক্রোম-এ্যালামের কেলাস গঠিত হয় না। এই কোষের E. M. F ২.২ ভোল্ট হইতে ১.৭ ভোল্ট পর্য্যন্ত নামিয়া যায়। সেইজন্য অল্প সময়ের জন্য তীব্র প্রবাহ দরকার হইলে এই কোষ ব্যবহৃত হয়।



৪৭ নং চিত্র—ড্রাই কোষ

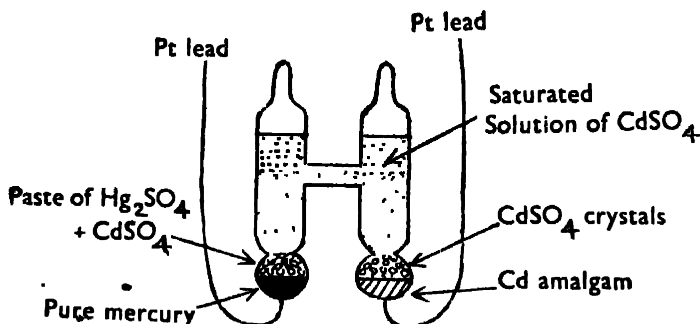
(গ) ড্রাই (Dry) কোষ: (ক) দস্তার চোঙ Z কোষের বহির্পাত্র। ইহা নিম্ন বিভব পাত্র বা ঋণাত্মক মেরু। (খ) চোঙের ঠিক মাঝখানে অবস্থিত কারবন দণ্ড C উচ্চ বিভব পাত বা ধনাত্মক মেরু। দুই পাতের মাথায় দুইটি পিতলের ছোট দণ্ড B. S. R. থাকে।

(গ) কারবন দণ্ডের চারিপাশে মসলিনের থলিতে কাল লেই থাকে। এই লেই MnO_2, গুঁড়া-কয়লা বা গ্রাফাইট, NH_4Cl ও একটু জল দিয়া প্রস্তুত হয়। আবার থলির বাহিরে চারিপাশে করাতের গুঁড়া, NH_4Cl, সামান্য $ZnCl_2$ থাকে। (ঘ) লেই ও দস্তার চোঙের মাঝখানে কাগজ থাকে। (ঙ) কোষের ও চতুঃপার্শ্ব অপরিবাহী দ্রব্য (যথা করাতের গুঁড়া, বালি ও পীচ বা মোম) দ্বারা ঢাকা থাকে। (চ) গ্যাস বাহির হইবার জন্য উপরে একটি ছিদ্র থাকে। এই কোষের E. M. F = ১.৫ ভোল্ট। ইহা টর্চ আলো বা রেডিও যন্ত্রে ব্যবহৃত হয়। ইহার রাসায়নিক ক্রিয়া লেক্‌লান্স কোষের মত। লেক্‌লান্স কোষের সছিদ্র পাত্রের পরিবর্তে মসলিন থলি এবং NH_4Cl দ্রবণের পরিবর্তে লেই ব্যবহৃত হয়।

১৩। **নিত্য বা প্রমাণ কোষ** (Constant or Standard Cell) :— যে সকল কোষের E. M. F নিত্য থাকে অর্থাৎ ব্যবহারে বাহ্যিক বা আভ্যন্তরীণ কোন কারণেই E. M. F. বদলায় না তাহাদিগকে **প্রমাণ** কোষ বলে। অপর কোষের E. M. F নির্ণয় ও তুলনা করিবার জন্য প্রমাণ কোষ ব্যবহার করা হয়, তড়িৎ প্রবাহ সরবরাহ করিবার জন্য নহে। এইরূপ কোষে স্থানীয় ক্রিয়া বা ছদন ক্রিয়া হয় না। ইহাদের E. M. F উষ্ণতার সঙ্গে অতি সামান্য বদলায়। কোষের মধ্যে রাসায়নিক ক্রিয়া হইতে তড়িৎ শক্তি উদ্ভবের হারের উপর E. M. F নির্ভর করে। নিম্নে একটি প্রমাণ কোষের বিবরণ দেওয়া হইল :—

ওয়েষ্টন ক্যাডমিয়াম (Weston Cadmium) **কোষ :** একটি বদ্ধ H আকারের কাচ পাত্রের একটি বাহুর নীচে (৪৮নং চিত্রে বামবাহু) বিশুদ্ধ পারদ স্তর থাকে। এই স্তর ধনাত্মক মেরু। ইহার উপর মারকিউরাস সালফেটের (Hg_2SO_4) স্তর থাকে। Hg_2SO_4 ছদন-নিবারকের কাজ করে। অপর বাহুর নীচে ক্যাডমিয়াম (১০%) ও পারদ মিশ্রণ থাকে। এই মিশ্রণ ঋণাত্মক মেরু। দুই বাহুতে ইহাদের উপর ক্যাডমিয়াম সালফেটের সংপৃক্ত দ্রবণ থাকে। এই দ্রবণ তড়িতোত্তেজক তরল। দ্রবণের তীব্রতা (strength) ঠিক রাখার জন্য দ্রবণের মধ্যে ক্যাডমিয়াম সালফেটের কিছু কেলাস রাখা হয়।

উপরোক্ত পদার্থগুলি কাচ নলের মধ্যে বদ্ধ থাকে বলিয়া দুই নলের নীচে প্লাটিনাম তার গলাইয়া কোষের প্রান্ত বন্ধনীর সঙ্গে যোগ করা হয়। কোষের



৪৮ নং চিত্র—ওয়েষ্টন ক্যাডমিয়াম কোষ

E. M. F ২০°C উষ্ণতায ১·০৮৩ ভোল্ট। t°C উষ্ণতায় E. M. F নিম্নের সমীকরণ দ্বারা পাওয়া যায় :—Et = [১·০১৮৩ – ০·০০০০৪০৬ (t – ২০)] ভোল্ট। এই কোষ বেশী নাডাচাডা করা অনুচিত। এই কোষে উচ্চ প্রতিরোধক (high resistance) ব্যবহার করা হয়।

প্রাথমিক কোষের তালিকা :

নাম	নিম্ন বিভব পাত	উচ্চ বিভব পাত	তঃ উঃ তরল	ছদন নিবারক	E. M. E
সরল	দস্তা (পারদ-লেপিত)	তামা	পাঃ $H_2SO_4^-$	×	·৫ – ১·০
ডেনিয়েল	,,	,,	,,	$CuSO_4$ দ্রঃ	১·০৭
বুন্সেন	,,	কারবন	,,	তীব্র HNO_3	১·৯৫
গ্রোভ	,,	প্লাটিনাম	,,	,,	,,
লেক্লান্স	,,	কারবন	NH_4Cl দ্রঃ,	MnO_2	১ ৪
ড্রাই	,,	,,	NH_4Cl লেই	,,	১ ৪৬
বাইক্রোমেট	,,	,,	পাঃ H_2SO_4	$K_2Cr_2O_7$	২·১
ওয়েষ্টন	ক্যাডমিয়াম-পারদ	পারদ	$CdSO_4$ দ্রঃ	Hg_2SO_4	১·০১৮

১৪। তড়িৎ প্রবাহের ফল (Effects of Current): কোন তারে তড়িৎ প্রবাহিত হইলে ইহার নিম্নলিখিত গুণ বর্তমান থাকে :—

(ক) **চুম্বকীয় ফল** (Magnetic Effect): তড়িৎ প্রবাহী তারকে একটি শলাকার উপর আলম্বিত সূচী-চুম্বকের কাছে আনিলে নির্দিষ্ট নিয়ম অনুসারে সূচী-চুম্বক আন্দোলিত হয়। অর্থাৎ তড়িৎবাহী তারের চারিপাশে চৌম্বক ক্ষেত্র সৃষ্টি হয়। পদার্থ বিদ্যার যে শাখা তড়িৎ ও ইহার সৃষ্ট চৌম্বক ক্ষেত্রের বিষয় আলোচনা করে তাহাকে **তড়িচ্চুম্বকত্ব** (Electromagnetism) বলে। (১৬ অনুচ্ছেদ)

(খ) **তাপীয় ফল** (Heating Effect): তারের মধ্য দিয়া তড়িৎ প্রবাহিত হইলে তারটি উত্তপ্ত হয়। তড়িৎ বাল্বে সরু তারের মধ্য দিয়া তড়িৎ প্রবাহিত হইলে তাপ ও আলো উদ্ভূত হয়।

(গ) **রাসায়নিক ফল** (Chemical Effect): অম্ল, লবণ, ক্ষার প্রভৃতির দ্রবণের মধ্য দিয়া তড়িৎ প্রবাহিত করিলে দ্রব্যগুলি আয়নে (তড়িতাহিত পরমাণুকে আয়ন বলে) বিশ্লিষ্ট হয়।

আমরা পর পর এই সকল ফলের বিষয় আলোচনা করিব।

প্রশ্ন :

Q 1. Explain clearly the phenomenon of polarisation and its causes in simple cells, and show how these are removed in various cells. (Pat. 1930, '32, '38 ; Cf. C. U. '20 ; A.U. '18).

2. Explain 'local action' and 'polarisation' and show how they are avoided in a Daniell cell.

(C. U. 1930, Cf. '41, '46, '48 ; Dac. '34 ; Cf. Pat. '42).

Why is it necessary for the good working of the cell, that the copper sulphate solution be kept concentrated ?

(C. U. 1946)

3. Describe any two arrangements for maintaining a steady current of electricity in a given wire. Explain the mode of

supply of energy for maintaining it in two cases. What becomes of the energy as it continues to flow ? (C. U. 1911.)

4, Describe a Daniell cell and explain its action.
(C. U. 1911, '14, '21, '26, '28 ; Cf. Pat. 1919, '21, '27, '38).

5. Describe a Bunsen cell and explain its action.
(C. U. 1934).

6. Describe a Daniell cell. Explain the uses of its various components. What chemical changes take place in a cell when current is taken from it ? (Dac. 1927).

7. Explain the relative advantages and disadvantages of (i) a Leclanche cell, (ii) a Daniell cell, and (iii) a Storage cell or accumulator. (Pat. 1937).

8. What is a standard cell, and why is it so called ?
(C. U. 1926).

9. Describe a storage cell. What is its E. M. F ? How would you measure such an E. M. F ? (C. U. 1933).

In what respects does an accumulator differ from a Daniell cell ? (C.U 1935).

তড়িৎ প্রবাহ ও চুম্বকত্ব

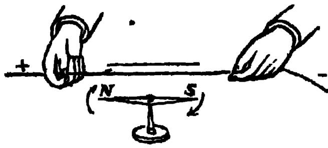
(Mutual Effect of Currents and Magnet)

(ক) চুম্বকের উপর তড়িৎ প্রবাহের ক্রিয়া

(Action of Current on Magnet.)

১৫। Oersted **এর পরীক্ষা :** ১৮১৯ খৃষ্টাব্দে Oersted আবিষ্কার করেন যে কোন স্থির সূচী-চুম্বকের উপর দিয়া কোষ হইতে চুম্বকের অক্ষের সমান্তরালে **ধাতব তার** প্রসারিত করিয়া তড়িৎ বর্তনী সম্পূর্ণ করিলে চুম্বক বিক্ষিপ্ত (deflected) হয়। কিন্তু **অন্তরিত** তড়িতাহিত পরিবাহীর (যেমন

অন্তরিত ও আহিত লোহার বল) নিকট চুম্বক রাখিলে চুম্বক বিক্ষিপ্ত হয় না। তিনি এই পরীক্ষা হইতে সিদ্ধান্ত করেন যে তড়িৎ **প্রবাহের** সঙ্গে চৌম্বকত্বের নিকট সম্পর্ক আছে। স্থির-তড়িতের কোন চৌম্বকত্ব গুণ থাকে না। তড়িৎ প্রবাহ স্বয়ং চুম্বকের ন্যায় আচরণ করে। প্রবাহের দরুণ বলকে তড়িচ্চুম্বকীয় বল বলে। পদার্থ-বিদ্যায় এই শাখাকে Electromagnetism বলে।



৪৯ নং চিত্র—Oerstedএর পরীক্ষা

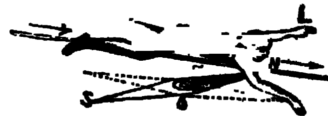
১৬। **চুম্বক বিক্ষেপের অভিমুখ :** চুম্বক তড়িৎ প্রবাহের প্রভাবে তড়িৎবাহী তারের দৈর্ঘ্যের অভিলম্বে বিক্ষিপ্ত হইতে চেষ্টা করে। কিন্তু পার্থিব চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রভাবের জন্য চুম্বক মাঝামাঝি অবস্থায় স্থির হয়। চুম্বক বিক্ষেপের অভিমুখ তড়িৎ প্রবাহের অভিমুখের উপর ও তারের অবস্থানের উপর নির্ভর করে। নিম্নে Oerstedএর পরীক্ষার ফলাফল দেওয়া হইল।

তারের অবস্থান	**প্রবাহের অভিমুখ**	**N মেরুর বিক্ষেপের অভিমুখ**
১। চুম্বকের উপর	N হইতে S দিকে	পূর্বদিকে
২। " "	S হইতে N দিকে	পশ্চিম দিকে
৩। " নীচে	N হইতে S দিকে	" "
৪। " "	S হইতে N দিকে	পূর্বদিকে

চুম্বক বিক্ষেপের দিক দুইটি নিয়ম দ্বারা নিয়ন্ত্রিত হয়, যথা :—

(১) **অ্যাম্পিয়ারের নিয়ম** (Ampere's Rule) :

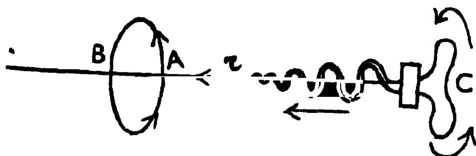
কোন মানুষ চুম্বকের দিকে মুখ রাখিয়া তড়িৎবাহী তার বরাবর তড়িৎ প্রবাহের অভিমুখে সাঁতরাইয়া যায় মনে করিলে চুম্বকের উত্তর মেরু N মানুষটির বাম হাতের দিকে বিক্ষিপ্ত হইবে। সুতরাং দক্ষিণ মেরু S তাহার ডান হাতের দিকে বিক্ষিপ্ত হইবে।



৫০নং চিত্র—অ্যাম্পিয়ারের পরীক্ষা

(২) ম্যাক্সওয়েলের কর্ক-স্ক্রু নিয়ম (Maxwell's Cork-Screw Rule) :

একটি ডানদিকে ঘোরান স্ক্রু Cর (right handed screw) অক্ষ তড়িৎবাহী 2° তারের দৈর্ঘ্য বরাবর রাখিয়া যদি তড়িৎ প্রবাহের অভিমুখে স্ক্রুকে আগান যায়



৫১ নং চিত্র—কর্ক-স্ক্রু নিয়ম পরীক্ষা

তবে বৃদ্ধাঙ্গুষ্ঠের অর্থাৎ স্ক্রুকে যে দিকে ঘোরান যায় সেই দিকে চুম্বকের উত্তর মেরু বিক্ষিপ্ত হইবে অর্থাৎ বৃদ্ধাঙ্গুষ্ঠের দিকই বলরেখার অভিমুখ প্রকাশ করিবে। ছবিতে প্রবাহের দিক তীর চিহ্ন, বলরেখার দিক তীর চিহ্নিত বৃত্ত দিয়া দেখান হইয়াছে। A তারের সম্মুখ ও B পিছন ভাগ।

উপরোক্ত নিয়মগুলির ফল একই প্রকার।

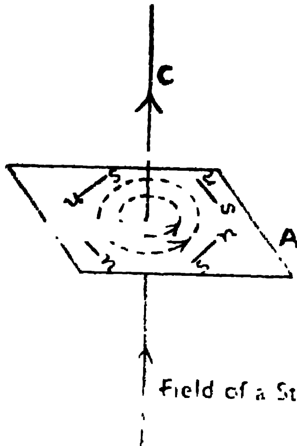
দ্রষ্টব্য (i) চুম্বকের উপর ও নীচে দুইটি সমান্তরালে তারের মধ্য দিয়া বিপরীত মুখে একই তড়িৎ প্রবাহিত করিলে দুইটি প্রবাহ দ্বারা চুম্বকের উত্তর মেরু একই দিকে বিক্ষিপ্ত হইবে অর্থাৎ চুম্বকের উপর তড়িৎ প্রবাহের চৌম্বক প্রভাব দ্বিগুণ হইবে। এইরূপে তারের পাক (turns) বাড়াইয়া অতি ক্ষীণ প্রবাহ ও চুম্বকের বিক্ষেপকে অধিক পরিমাণে বাড়াইতে পারে। এই নীতি গ্যাল্‌ভ্যানোমিটারে ব্যবহৃত হয়। চুম্বকের বিক্ষেপের মাত্রা তারের পাকের সংখ্যার উপর এবং প্রবাহের তীব্রতার উপর নির্ভর করে।

১৭। রৈখিক (Straight) প্রবাহের দরুণ চৌম্বক ক্ষেত্র :—তড়িৎ-বাহী সরল তারের চতুর্দিকে একটি চৌম্বকক্ষেত্র বর্তমান থাকে।

পরীক্ষা :—একটি মসৃণ কার্ডবোর্ড বা কাচের পাত A অনুভূমিকভাবে রাখ এবং ইহার কেন্দ্রস্থিত একটি ছোট ছিদ্রের মধ্য দিয়া মোটা তামার তার C অভিলম্ব ভাবে অতিক্রম করাও। কার্ডবোর্ডের উপর লোহাচুর ছড়াইয়া দাও।

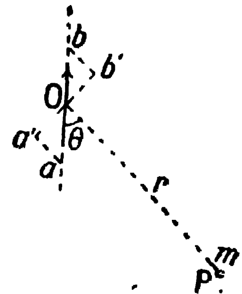
তামার তারের মধ্য দিয়া তীব্র প্রবাহ অতিক্রম করাও এবং কার্ডবোর্ডকে আঙুল দিয়া টোকা দাও।

পর্য্যবেক্ষণ :—(ক) লোহাচূরগুলি তারের চতুর্দিকে সমকেন্দ্রিক বৃত্তে সজ্জিত হয় ; সব বৃত্তের কেন্দ্র তার ও কার্ডবোর্ডের ছেদবিন্দু। (খ) বৃত্তগুলির তল তারের অভিমুখের সমকোণে থাকে। (গ) কার্ডবোর্ডের উপর বিভিন্ন স্থানে সূচীচুম্বক n s রাখিলে ইহার অক্ষের অভিমুখ বলরেখার অভিমুখ নির্দেশ করে। তড়িৎ-প্রবাহের অভিমুখ উল্টাইয়া দিলে বলরেখার অভিমুখ উল্টাইয়া যায় এবং সূচী-চুম্বকের অক্ষের অবস্থান উল্টাইয়া যায়। (ঘ) দর্শক হইতে দূরে প্রবাহের দিকে দৃষ্টি দিলে বলরেখার অভিমুখ দক্ষিণাবর্ত (clockwise) হয়।



৫২ নং চিত্র—রৈখিক প্রবাহের চৌম্বক ক্ষেত্র

১৮। ক্ষুদ্র প্রবাহের দরুণ চৌম্বক ক্ষেত্রের বল ; লাপ্‌লাসের নিয়ম :—(Field due to a short current element : Laplace's Law) : মনে কর ab ক্ষুদ্র তারের মধ্য দিয়া তড়িৎ প্রবাহিত হইতেছে। মনে কর ab তার হইতে r দূরত্বে P বিন্দুতে m মেরু মাত্রাবিশিষ্ট একটি N মেরু রাখা হইল। ab অবশ্য r এর তুলনায় নগন্য হওয়া দরকার। এখন i প্রবাহের জন্য m মেরুর উপর যে তড়িচ্চুম্বকীয় বল প্রযুক্ত হইবে তাহার মান বাহির করিব। মনে কর এই বল = F, ab তারের মধ্য-



৫৩ নং চিত্র—লাপ্‌লাসের গণনা

বিন্দু $=O$, ab ও OP এর মধ্যস্থিত কোণ $=\theta$, P হইতে ab কে দেখিলে ab কে $a'b'$ র সমান বলিয়া বোধ হইবে। $\therefore$ $a'b' = ab \sin\theta$

পরীক্ষাব দ্বারা দেখা যায় যে

(১) F ও i সমানুপাতিক হয় ($F \propto i$)।

(২) F ও r এর বর্গ ফল ব্যস্তানুপাতিক হয় ($F \propto \frac{1}{r^2}$)।

(৩) F ও $a'b'$ সমানুপাতিক হয় ($F \propto a'b'$)।

(৪) F ও m সমানুপাতিক হয় ($F \propto m$)।

$$\therefore F \propto \frac{i\, ab \sin\theta.\ m}{r^2} \quad \therefore F = K.\frac{i\, ab \sin\theta.\ m}{r^2}$$

যদি তারের দৈর্ঘ $ab = l$ সেঃ মিঃ হয় তবে $F = \frac{K.\ i.\ l \sin\theta.\ m}{r^2}$

C. G. S প্রণালীতে K = ১ হয় $\therefore$ $F = \frac{i.\ l.\ \sin\theta.\ m}{r^2}$ ডাইন

যদি $\theta = ৯০^\circ$ হয় তবে $\sin\theta = ১$ হয় $\therefore$ $F = \frac{i\ l.\ m}{r^2}$ ডাইন।

একক মাত্রা বিশিষ্ট উত্তর মেরুব উপব বল $F = \frac{i.\ l}{r^2}$ ডাইন। ($\because m = 1$

১৯। **প্রবাহের চারিদিকে চুম্বকের আবর্তন** (Motion of a magnet round a current) **:** যদি একটি মেরু বিশিষ্ট চুম্বক পাওয়া সম্ভব হইত তবে ইহা তড়িৎবাহী সরল তারের চতুর্দিকে ঘুরিতে থাকিত। কিন্তু এইরূপ চুম্বক পাওয়া অসম্ভব। নিম্নের পরীক্ষার দ্বারা কোন তড়িৎবাহী সরল রৈখিক তারের চতুর্দিকে বৃত্তপথে চুম্বকের উত্তর মেরুর আবর্তন দেখান হইয়াছে :—

পরীক্ষা : তিনটি levelling স্ক্রুর উপর একটি অনুভূমিক কাঠের পীঠ

(base) X আছে। উহার মাঝে উল্লম্বভাবে একটি পিতলের দণ্ড D আছে Dর মাথায় একটি ছোট বাটি আছে। বাটির মধ্যে কিছু পারদ থাকে। C একটি পিতলের বলয়াকার (annular) পারদ পাত্র অনুভূমিক ভাবে Dর সহিত একই অক্ষে তিনটি পায়া Uর উপর স্থাপিত আছে। একটি পায়াকে উঁচুদিকে (E) বাড়িয়ে দেওয়া হইয়াছে। Eর মাথায় আর একটি অনুভূমিক দণ্ড R লাগান আছে। Rএর এক দিকে পিতলের স্ক্রু হইতে সরু সূতা দিয়া একটি দণ্ডF অনুভূমিক ভাবে যুক্ত করা হয় Fএর দুইদিকে দুইটি চুম্বক *ns*, *n's'* ঝুলান থাকে। উত্তর মেরু *n*, *n'* নীচু দিকে থাকে, আব ঐ দণ্ডটির মাঝেব ছোট ছুঁচাল অংশ Dব মাথায় পারদের সহিত স্পর্শ করিয়া থাকে ঐ দণ্ড হইতে p তামার তাব অভিলম্বভাবে (normally) লাগান আছে। সেই তাবের মুখটি বক্র কবিয়া বলয়াকার পাত্রেব সহিত যুক্ত কবা হয়।

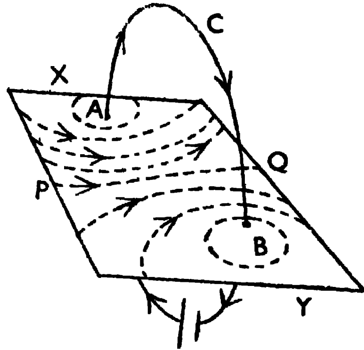
৫৪ নং চিত্র—প্রবাহের চারিধারে চুম্বকের আবর্তন

T যোজক স্ক্রুব সহিত ব্যাটারির + মেরুর যোগ করা হয় এবং T' এর সহিত মেরুর সংযোগ করা হয় এবং তড়িৎ প্রবাহিত হইলে দুইটি মেরু *n*, n^1, বৃত্তপথে ঘুরিতে থাকে।

বৃত্ত পথটি তীর চিহ্নিত করা হইযাছে। কর্ক-স্ক্রু নিয়মে *n*, *n'* ঘুরিতে থাকে।

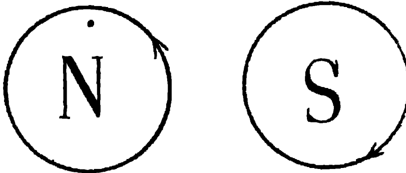
২০। বৃত্তাকার প্রবাহের দরুণ চৌম্বক ক্ষেত্র (Magnetic Field due to a Circular Current) : একটি অনুভূমিক XY কাচ ফলকের মধ্য দিয়া একটি বৃত্তাকার অন্তরিত তার ACB উল্লম্বভাবে অতিক্রম করাও

যাহাতে ACB তারটির কেন্দ্র ফলকের উপর অবস্থিত হয় এবং তারটি ফলককে দুইটি A ও B বিন্দুতে ছেদ করে। ফলকের উপর লোহাচুর ছড়াইয়া দাও। তারের মধ্য দিয়া ব্যাটারির সাহায্যে তড়িৎ প্রবাহিত করাও এবং ফলককে আঙ্গুল দিয়া টোকা দাও। লোহাচুরগুলি বিশেষ ধরণে সজ্জিত হয়। লোহাচুরগুলি বলরেখার অভিমুখ নির্দেশ করে। যথা: (ক) তারের ছেদবিন্দুর নিকটবর্তি বলরেখাগুলি প্রায় বৃত্তাকার। তার হইতে যতদূর যাওযা যায় ততই বলরেখার বক্রতা কমিয়া যায়।



৫৫নং চিত্র—বৃত্তকার প্রবাহের চৌম্বক ক্ষেত্র

(খ) তারের দুই ছেদবিন্দুর মধ্যবর্তি বলরেখাগুলি একই অভিমুখে যায়। তারের কেন্দ্রের কাছাকাছি বলরেখাগুলি (যথা PQ) প্রায় সমান্তরাল হয় এবং তারের তল ACB র উপর অভিলম্ব হয়। সুতরাং তারের কেন্দ্রের চারিপাশে সামান্য অঞ্চলে চৌম্বক ক্ষেত্র সমবলসম্পন্ন (uniform) হয়। কার্ডবোর্ডের উপর সূচী-চুম্বক রাখিলে বলরেখার অভিমুখ পাওয়া যায়। বৃত্তাকার তারকে দর্শকের সামনে ধরিলে বলরেখাগুলি দর্শক হইতে দূরে যাইবে যদি তড়িৎ প্রবাহ দক্ষিণাবর্তী হয় (যেমন ছবিতে দেখা যায়) এবং বলরেখা দর্শকের দিকে আসিবে যদি তড়িৎ প্রবাহ বামাবর্তী হয়। বৃত্তাকার তার ঠিক একটি চুম্বকের মত ব্যবহার করে যাহার বেধ তারের ব্যাসের সমান এবং যাহার ক্ষেত্রফল বৃত্তের ক্ষেত্রফলের সমান। ইহার দুই পৃষ্ঠে দুইটি মেরুর উদ্ভব হয় যথা:—তারকে চোখের সামনে ধরিলে দক্ষিণাবর্তী প্রবাহের দিকে দক্ষিণ মেরু আর বামাবর্তী প্রবাহের দিকে উত্তর মেরুর উদ্ভব হয়। (৫৬নং চিত্র)



৫৬ নং চিত্র

২১। বৃত্তাকার প্রবাহের কেন্দ্রে চৌম্বক ক্ষেত্রের মাত্রা (Intensity of the Field at the centre of a Circular Current) : লাপ্লাসের নিয়ম অনুসারে বৃত্তাকার প্রবাহের জন্য বৃত্তের কেন্দ্রে যে তড়িচ্চুম্বকীয় বলের উদ্ভব হয় তাহা নিম্নলিখিত সমীকরণ দ্বারা পাওয়া যায় :

মনে কর l সেঃ মিঃ তারকে r ব্যাসার্ধ বিশিষ্ট বৃত্তে পরিণত করা হইয়াছে। $\therefore$ $l=2\pi r$. মনে কর i = C. G. S এককে প্রবাহ মাত্রা।

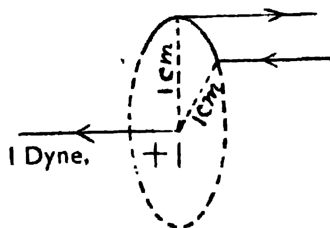
$\therefore$ $F=\dfrac{i.\ 2\pi r\ \sin\theta}{r^2}$। বৃত্তের পরিধির প্রত্যেক বিন্দু হইতে কেন্দ্রের দূরত্ব $=r$ এবং প্রত্যেক বিন্দুর জন্য $\theta^\circ=৯০^\circ$ $\therefore$ $\sin\theta^\circ=১$

$\therefore$ $F=\dfrac{2\pi.i}{r}$ ডাইন প্রতি একক উত্তর মেরুর উপর

যদি তারের n পাক থাকে এবং প্রত্যেক পাকের জন্য F বলের উদ্ভব হয় তবে n পাকের জন্য nF বলের উদ্ভব হয়। মনে কর nF বলের মাত্রা $F'=\dfrac{2\pi.in.}{r}$ ডাইন

২২। প্রবাহের একক (Unit of Current) : লাপ্লাসের নিয়মানুসারে ইহা নির্ণীত হয়। ১ সেঃ মিঃ দৈর্ঘ্য বিশিষ্ট তারকে ১ সেঃ মিঃ ব্যাসার্ধ বিশিষ্ট বৃত্তের চাপে (arc) পরিণত করিয়া i তড়িৎ প্রবাহিত করিলে উহার কেন্দ্রে একক মাত্রা উত্তর মেরুর উপর তড়িচ্চুম্বকীর বল $F=\dfrac{i\ l.\ \sin\theta}{r^2}$ $=i$ কারণ $\sin\theta=১$, $r=১$, $l=১$.

যদি F = ১ ডাইন হয় তবে $i=১$ C. G. S একক হইবে সুতরাং এক সেন্টিমিটার দীর্ঘ এক খণ্ড তারকে এক সেন্টিমিটার ব্যাসার্ধ বিশিষ্ট বৃত্তের চাপে বাঁকাইয়া উহার মধ্য দিয়া তড়িৎ প্রবাহিত করাইলে যদি তড়িৎ প্রবাহ চাপের কেন্দ্রে স্থাপিত একক মাত্রা উত্তর মেরুর উপর এক ডাইন বল প্রয়োগ করে তবে এই প্রবাহের মাত্রাকে C. G. S. **তড়িচ্চুম্বকীয় বা চরম একক** (Electromagnetic Absolute Unit e. m. u.) বলে।

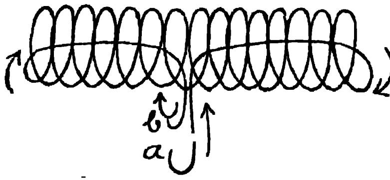


৫৭ নং চিত্র—একক প্রবাহ

অন্যান্য এককের সম্পর্কে : i আম্পিয়ার $= i \times ১০^{-১}$ *e. m u* ; প্রবাহ মাত্রা $= i \times ৩ \times ১০^{১০}$ *e. s. u.* প্রবাহ মাত্রা ; Q কুলম্ব $= Q \times ১০^{-১}$ *e. m. u.* আধান $= Q \times ৩ \times ১০^{১০}$ *e. s. u.* আধান।

i কে আম্পিয়ারে প্রকাশিত করিলে সমীকরণ $F = \frac{2\pi . n i}{10 r}$ ডাইন

২৫। **সলিনয়েড** (Solenoid) **:** একটি দীর্ঘ অন্তরিত তারকে অনুভূমিক কুণ্ডলীর আকারে কয়েকটি পাকে (turns) জড়াইয়া তারের দুই প্রান্তকে (a ও b) কুণ্ডলীর অক্ষ বরাবর বাঁকাইয়া তারের মাঝখানে শেষ করিলে কুণ্ডলীকে **সলিনয়েড** বলে। আমরা পূর্বে দেখিয়াছি তড়িৎবাহী বৃত্তাকার তার একটি চুম্বকের মত আচরণ করে। সলিনয়েডের মধ্য দিয়া তড়িৎ প্রবাহিত করিলে কুণ্ডলীর প্রত্যেক পাকই দুই মুখে দুই সমান ও বিপরীত মেরু বিশিষ্ট চুম্বকের চাকৃতির মত আচরণ করে। সুতরাং পার্শ্ববর্তী দুই বিপরীত মেরু পরস্পরকে প্রশমিত করে কেবল সলিনয়েডের দুই শেষ প্রান্তে দুইটি বিপরীত মেরু থাকিয়া যায়। সলিনয়েডের মেরু নিম্নলিখিত নিয়মে পাওয়া যায় :—যে মুখে তড়িৎকে দক্ষিণাবর্তে প্রবাহিত হইতে দেখা যায় সে মুখে দক্ষিণ মেরুর ও বিপরীত মুখে উত্তর মেরুর উদ্ভব হয়। সুতরাং মোটের উপর সলিনয়েড একটি চোঙাকৃতি দণ্ড চুম্বকের মত ব্যবহার করে; তড়িৎ প্রবাহের অভিমুখ উল্টাইয়া দিলে সলিনয়েডের মেরু উল্টাইয়া যায়।

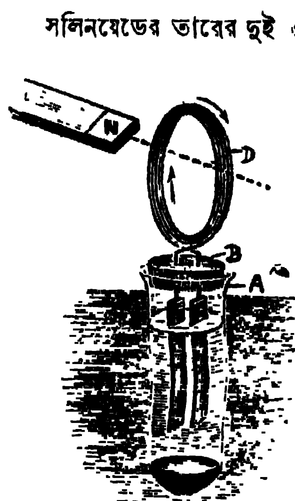


৫৮ নং চিত্র—সলিনয়েড

পরীক্ষা ঃ—সলিনয়েডের অক্ষ বরাবর একটি কার্ডবোর্ড রাখ। কার্ডবোর্ডের উপর লোহাচুর ছড়াইয়া দাও। সলিনয়েডের মধ্য দিয়া শক্তিশালী তড়িৎ প্রবাহিত করাও। কার্ডবোর্ডের উপর বলরেখা দণ্ড-চুম্বকের বলরেখার মত হইবে।

নিম্নের পরীক্ষা হইতে সলিনয়েডের **চৌম্বক প্রকৃতি** বোঝা যায় :—

সলিনয়েডের তারের দুই প্রান্ত সরল A কোষের দস্তার ও তামার পাতের সহিত সংযুক্ত করিয়া কোষকে বড় কর্কের মধ্যে রাখিয়া কর্ককে জলে ভাসাইয়া দাও। সলিনয়েডের মধ্য দিয়া তড়িৎ প্রবাহ হইবে এবং ইহা ভাসমান চুম্বকের মত আচরণ করিবে সুতরাং ইহার যে মুখে প্রবাহ বামাবর্তী হইবে সে মুখে উত্তর মেরু হইবে এবং এই মুখ সরিতে সরিতে পৃথিবীর উত্তর দিক নির্দেশ করিবে। এই মুখের কাছে দণ্ড চুম্বকের উত্তর মেরু লইয়া আসিলে এই মুখ দূরে সরিয়া যাইবে এবং দক্ষিণ মেরু লইয়া আসিলে সলিনয়েড আকৃষ্ট হইবে। সলিনয়েডের অক্ষ চৌম্বক মধ্যরেখায় থাকে। এই যন্ত্রকে De la Rive **ভাসমান ব্যাটারি** (Floating Battery) বলে।



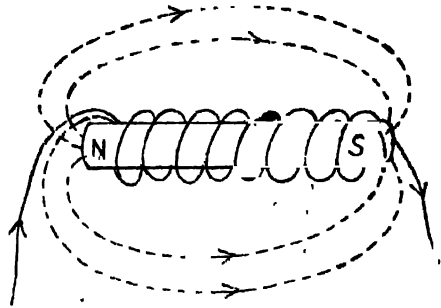
৫৯ নং চিত্র—ভাসমান ব্যাটারি

সলিনয়েডের ভিতরে চৌম্বক মাত্রা F নিম্নলিখিত সমীকরণ দ্বারা পাওয়া যায় :—$F=4\pi.n.i$ (এখানে n = কুণ্ডলীর ১ সেঃ মিঃ দৈর্ঘ্যে তারের পাকের সংখ্যা, F = ডাইনে চৌম্বক মাত্রা, i = প্রবাহ মাত্রা *e. m. u.*)। i অ্যাম্পিয়ারে প্রকাশিত হইলে $F=4\pi ni$; niকে **অ্যাম্পিয়ার পাক** (ampere turn) বলে।

২৬। তড়িৎ-চুম্বক (Electro-magnet) **:** পঞ্চম খণ্ডের অনুচ্ছেদে ইহার বিষয় বলা হইয়াছে। তড়িৎবাহী সলিনয়েডের মধ্যে নরম লোহা প্রবেশ করাইলে সলিনয়েডের ভিতরের চৌম্বক ক্ষেত্র নরম লোহাকে আবেশের দ্বারা চুম্বকিত করে। তড়িৎ প্রবাহ বন্ধ করিলেই চৌম্বক ক্ষেত্র অন্তর্হিত হয় এবং নরম লোহার চুম্বকত্বও অন্তর্হিত হয়।

এইরূপ তড়িতের দ্বারা চুম্বকিত নরম লোহাকে **তড়িৎ চুম্বক** বলে। এই নরম লোহাকে **কোর** (core) বলে। যে কোন প্রান্তে নরম লোহার

মেরু আর সলিনয়েডের মেরু একই হয়। প্রবল চুম্বক ক্ষেত্র উৎপাদনের জন্য তড়িৎ চুম্বক ব্যবহৃত হয়। এই উদ্দেশ্যে অশ্ব-খুরাকৃতি তড়িৎ চুম্বক ব্যবহৃত হয়। ইহার দুই বাহুতে তারটি বিপরীত অভিমুখে জড়াইতে হয়। ইহাতে দুই বাহুর বলরেখাগুলির অভিমুখ একই দিকে থাকে। তড়িৎ চুম্বকের আকর্ষণ বল আম্পিয়ার পাকের (ampere turns) সংখ্যার উপর ও তড়িৎ মাত্রার উপর নির্ভর করে। অনেক সময় শঙ্কু আকারের দুই খণ্ড নরম লোহা তড়িৎ চুম্বকের দুই মেরুর উপর রাখিলে তড়িৎ ক্ষেত্র খুব প্রবল হয়।



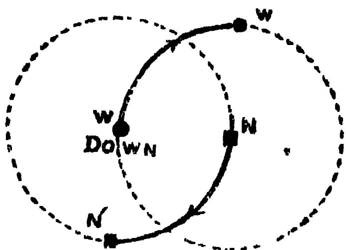
৬০ নং চিত্র—সরল তড়িৎ চুম্বক

তড়িৎ চুম্বকের ব্যবহার :—তড়িৎ চুম্বক নিম্নলিখিত যন্ত্রে ও কাজে ব্যবহৃত হয় যথা :—(ক) তড়িৎ ঘণ্টা, (খ) আবেশ কুণ্ডলী (Induction Coil), (গ) ট্রান্স ফর্মার ও ডায়নামো (Dynamo), (ঘ) টেলিফোন, (ঙ) টেলিগ্রাফ, (চ) ক্রেন, (ছ) মোটর (Motor), (জ) প্রকাণ্ড ভারী লৌহ খণ্ডকে স্থানান্তরিত করিবার জন্য, (ঝ) অচৌম্বক পদার্থ হইতে লোহাকে পৃথক করিবার জন্য, (ঞ) স্থায়ী চুম্বক প্রস্তুতে।

(খ) তড়িৎ প্রবাহের উপর চুম্বকের ক্রিয়া
(Action of Magnet on Currents)

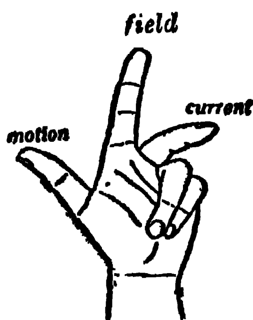
২৭। (ক) **চৌম্বক ক্ষেত্রে তড়িৎবাহী তারের গতি** : তড়িৎবাহী তার স্বয়ং চুম্বকের ন্যায় আচরণ করে এবং তারের চতুর্দিকে চৌম্বক ক্ষেত্র সৃষ্ট হয়। সুতরাং তড়িৎবাহী তার অন্য কোন চুম্বকের প্রভাবে আসিলে আকৃষ্ট বা বিকৃষ্ট হইবেই।

চিত্রে N চুম্বকের উত্তর মেরুর প্রাথমিক অবস্থা। W নিম্নগামী তড়িৎ-বাহী উল্লম্ব (vertical) তারের প্রস্থচ্ছেদ। ম্যাক্সওয়েলের কর্কস্ক্রু নিয়মানুসারে N মেরু তীর অভিমুখে N′ এর দিকে যাইবে এবং W র চারিদিকে বৃত্ত পথে ঘুরিবে যদি W স্থির থাকে। এখন যদি N কে স্থির রাখা যায় এবং W যদি গতিশীল হয় তবে W তার N এর বিপরীত অভিমুখে W′ এর দিকে একই গতিতে সরিয়া যাইবে এবং বৃত্তপথে ঘুরিতে থাকিবে যেহেতু নিউটনের তৃতীয় নিয়ম অনুসারে প্রত্যেক ক্রিয়ার সমান ও বিপরীত প্রতিক্রিয়া হয়। W সব সময়ই N ও W পরপর অবস্থানের সংযোজক রেখার সমকোণে গতিশীল হয়।



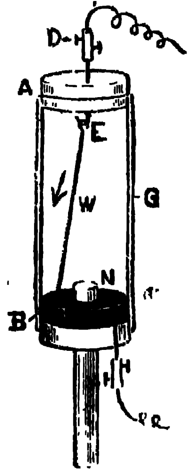
৬১ নং চিত্র

(খ) **তারের গতির অভিমুখ নির্ণয় : ফ্লেমিংয়ের বাম (left) হস্ত নিয়ম** :—বাম হস্তের অঙ্গুষ্ঠ (thumb), মধ্যমা (middle), তর্জনী (fore) পরস্পরের সহিত সমকোণে রাখিয়া প্রসারিত কর যাহাতে একটি অঙ্গুলী অপর দুইটির উপর অভিলম্ব হয়। এখন যদি মধ্যমা তড়িৎ প্রবাহের অভিমুখ এবং তর্জনী চৌম্বক বলরেখার অভিমুখ নির্দেশ করে তবে অঙ্গুষ্ঠ তারের গতির অভিমুখ নির্দেশ করিবে। এই নিয়মটি মনে রাখার সহজ উপায় হইতেছে : **Fore—F—Field** (বলরেখা), **Middle—I—**প্রবাহ, **Thumb—M—Intensity—Motion**



৬২ নং চিত্র—ফ্লেমিংয়ের বাম হস্ত নিয়ম

(গ) ফ্যারাডের পরীক্ষা: G একটি মোটা কাচের চোঙ। ইহার দুই মুখ কর্কের ছিপি A ও B দিয়া বন্ধ। উপরের A ছিপির ছিদ্রের মধ্য দিয়া C মোটা তার গিয়াছে। C তারের উপর প্রান্তে D বন্ধনী-স্ক্রু এবং নিম্ন প্রান্তে E হুক আছে। B কর্কের মধ্য দিয়া একটি গোল চুম্বকের N মেরু অতিক্রম করে। চোঙে খানিকটা পারদ ঢাল যাহাতে N মেরু পারদের উপর জাগিয়া থাকে। হুক হইতে সোজা তার W এমনভাবে ঝুলান থাকে যাহাতে ইহার শেষ প্রান্ত পারদের মধ্যে ডুবিয়া থাকে। একটি মোটা তার পারদকে I বন্ধনী-স্ক্রুর সঙ্গে যোগ করে। D ও I বন্ধনীকে ব্যাটারির সঙ্গে যোগ করিয়া W তারের মধ্য দিয়া নিম্ন দিকে প্রবল তড়িৎ প্রবাহ পাঠাইলে W তার N মেরুর চারিদিকে বৃত্তাকারে ঘুরিতে থাকে। ফ্লেমিংসের বাম হস্ত নিয়মানুসারে দেখা যায় যে তীর চিহ্নিত পথে তারটি ঘুরিতে থাকে।



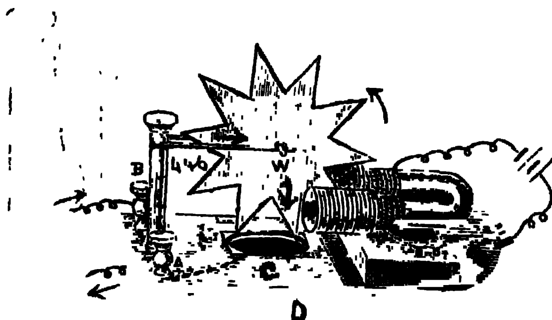
৬৩ নং চিত্র—চুম্বকের চারিদিকে প্রবাহের আবর্তন

প্রবাহের অভিমুখ পরিবর্তন করা হইলে তারের গতির অভিমুখ পরিবর্তিত হয়।

(ঘ) বারলোচক্র (Barlow's Wheel): এই যন্ত্র দ্বারা একটি চৌম্বক ক্ষেত্রে তড়িৎবাহী তারের অবিরাম গতি দেখা যায়।

যন্ত্র: এই যন্ত্রে একটি তারকাকৃতি আটটি পাখি বিশিষ্ট তামার চক্র W উল্লম্বভাবে ঝুলান আছে। ইহা একটি অনুভূমিক অক্ষের উপর বিনা ঘর্ষণে ঘুরিতে পারে। চক্রের কাষ্ঠ পাটাতন (base) D তে একটি সরু লম্বা গর্ত (groove) Cতে পারদ থাকে। C গর্তটি একটি শক্তিশালী অশ্বখুরাকৃতি চুম্বকের দুই মেরু N ও Sর মধ্যে অবস্থিত হয়। যখন W চক্র ঘোরে তখন ইহার নিম্নতম পাখী (spoke) বা দাঁত পারদ স্পর্শ করে। চক্রের তল চৌম্বক

ক্ষেত্রের উপর সমকোণে অবস্থিত হয়। A বন্ধনী-স্ক্রু পারদের সঙ্গে এবং B বন্ধনী-স্ক্রু চক্রের অক্ষের সঙ্গে যুক্ত থাকে।



৬৪ নং চিত্র—বারলো চক্র

পরীক্ষা: A ও B বন্ধনী-স্ক্রু ব্যাটারির প্রান্ত-বন্দনীর সঙ্গে যোগ কর। তড়িৎ W চক্রের অক্ষ ও দাঁত দিয়া নিম্নমুখে নামিয়া পারদের মধ্য দিয়া ব্যাটারিতে ফিরিয়া যায় এবং চক্র নির্দিষ্ট অভিমুখে অনবরত ঘুরিতে থাকে। যেমন একটি দাঁত পারদ হইতে উপরে উঠিয়া যায় গতির জাড্যের জন্য পরবর্তি দাঁত পারদ স্পর্শ করিয়া তড়িৎ সংযোগ বজায় রাখে। চক্রের আবর্তনের অভিমুখ ফ্লেমিংসের বামহস্ত নিয়মে পাওয়া যায়। যদি তর্জনী বলরেখার অভিমুখ নির্দেশ করে এবং মধ্যমা অক্ষ হইতে পারদে অভিলম্ব প্রবাহ নির্দেশ করে তবে অঙ্গুষ্ঠের অভিমুখ পাখির গতির অভিমুখ নির্দেশ করিবে।

২৮। রৈখিক প্রবাহের উপর চুম্বকক্ষেত্রের বল (Force on a linear current in a magnetic field) **:** লাপলাসের নিয়ম অনুসারে l সেঃ মিঃ তারের মধ্য দিয়া তড়িৎ প্রবাহ যাইলে r দূরত্বে m মেরু মাত্রার উপর বলের পরিমাণ $F = \frac{i.\ l.\ \sin\theta.\ m}{r^2}$

এখানে i প্রবাহ m মেরুর উপর F বল প্রয়োগ করে সুতরাং নিউটনের তৃতীয় সূত্রানুসারে m মেরু i প্রবাহের উপর সমান ও বিপরীত বল প্রয়োগ

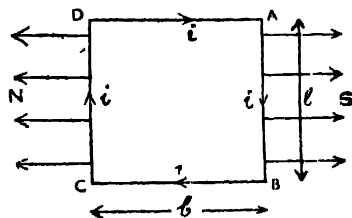
করিবে, । m মেরুর মাত্রার জন্য r দূরত্বে চুম্বকীয় ক্ষেত্রের মাত্রা $H \cdot \frac{m}{}$

$\therefore \quad F = i.\, l \sin\theta\, H$

এখন বামহস্ত নিয়মের সাহায্যে দেখা যায় যে l ও r যে সমতলে অবস্থিত F বলটি তার উপর লম্বভাবে ক্রিয়া করে। এক্ষেত্রে বলের দিক্ কাগজের পশ্চাৎ হইতে সম্মুখের দিকে অবস্থিত। যদি সম (uniform) চৌম্বক মাত্রা (H) সম্পন্ন ক্ষেত্রের বলরেখার অভিলম্বে অবস্থিত একটি l সেঃ মিঃ দীর্ঘ বৈখিক তারের মধ্য দিয়া i C.G.S তড়িৎ প্রবাহিত হয় তবে ঐ তারের উপর যে তড়িচ্চুম্বকীয় বলের উদ্ভব হয় তাহার পরিমাণ $F = H.l.i$ কারণ $\theta = ৯০^\circ$ এবং Sin ৯০° = ১.

২৯। আয়তক্ষেত্রিক কুণ্ডলীর উপর চৌম্বক ক্ষেত্রের ক্রিয়া (Force on a rectangular coil conveying current placed at right angle to a uniform magnetic field) :

মনে কর N ও S চুম্বক মেরুর মধ্যে l সেঃ মিঃ দীর্ঘ, b সেঃ মিঃ প্রশস্ত একটি আয়তক্ষেত্রিক তারের কুণ্ডলীর (coil) মধ্যে i (C. G. S) তড়িৎ প্রবাহিত হইতেছে। মনে কর H = চুম্বক ক্ষেত্রের মাত্রা এবং চুম্বক ক্ষেত্রটি সমবলসম্পন্ন (uniform)।



৬৫ নং চিত্র—আয়তক্ষেত্রিক তড়িৎ প্রবাহের উপর ক্রিয়া

তীর চিহ্ন দ্বারা বলরেখার অভিমুখ প্রকাশিত হইতেছে। ১৮নং অনুচ্ছেদ অনুসারে AB তারের উপর বল $H.l.i$ ডাইন। ইহা কাগজের পশ্চাৎ দিকে লম্বভাবে ক্রিয়া করিবে। CD তারের উপর $H.l.i$ ডাইন বল কাগজের সামনের দিকে ক্রিয়া করিবে। BC ও DA তারের উপর কোনও বল প্রযুক্ত হইবে না। কারণ এই দুইটি তারে বলরেখার অভিমুখে তড়িৎ প্রবাহ ঘটছে। অতএব $H.l\,i$ বল দুইটি সমান সমান্তরাল, ও একতলীয় (coplanar)। সুতরাং ইহারা দ্বন্দ্ব

গঠন করে। এইরূপ দ্বন্দ্ব বলের কাজ আবর্তন সৃষ্টি করা। এইরূপ আবর্তন ক্ষমতা দ্বন্দ্বের ভ্রামকের (moment) দ্বারা নির্নীত হয়। $H.l.i$ বলদ্বয়ের ভ্রামক = বল × বলরেখার মধ্যে লম্ব দূরত্ব $= b \times H.l.i = HiA$ ডাইন সেঃ মিঃ [এখানে $A = b \times l$ = আয়ত ক্ষেত্রের ক্ষেত্রফল]

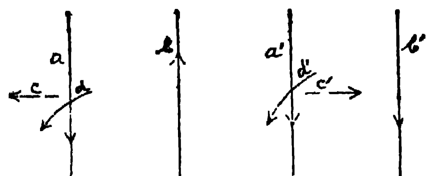
(গ) তড়িৎবাহী দুই তারের মধ্যে ক্রিয়া

(Action of Current on Currents).

৩০। (ক) প্রত্যেক তড়িৎবাহী তারের চতুর্দিকে চৌম্বক ক্ষেত্র সৃষ্ট হয়। সুতরাং একটি তড়িৎবাহী তারের নিকট অপর তড়িৎবাহী তার আনিলে দুই তার হইতে উদ্ভূত দুই চৌম্বক ক্ষেত্রের মধ্যে নিম্নলিখিত নিয়মানুসারে আকর্ষণ বা বিকর্ষণ হইবে।

(ক) **সমান্তরাল প্রবাহের নিয়ম** (Laws of Parallel Currents) **:** দুই সম (একমুখী) সমান্তরাল প্রবাহ পরস্পর আকর্ষণ করে এবং দুই বিষম (অর্থাৎ বিপরীত মুখী) সমান্তরাল প্রবাহ পরস্পর বিকর্ষণ করে।

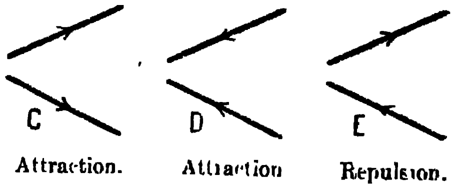
মনে রাখিবে চল বিদ্যুতে সমান্তরাল প্রবাহের নিয়ম এবং স্থির বিদ্যুতে আধানের আকর্ষণ ও বিকর্ষণ ঠিক উল্টা কারণ সম আধান বিকর্ষণ করে, বিষম আধান আকর্ষণ করে।

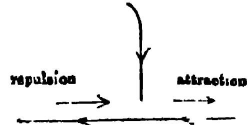


৬৬ নং চিত্র—সমান্তরাল প্রবাহের পারস্পারিক ফল

ব্যাখ্যা : মনে কর a ও b দুইটি সমান্তরাল তারে একই দিকে তড়িৎ প্রবাহ হইতেছে। এখন কর্ক স্ক্রু নিয়মের সাহায্যে a তারে তড়িৎ প্রবাহের দরুণ b তারের নিকট চুম্বকীয় বলরেখার অবস্থান দেখা যাইতেছে কাগজের ভিতর দিকে। এইবার b তারের তড়িৎ প্রবাহের উপর বাম হস্ত নিয়মানুসারে দেখা যায় যে, b তারটি a তারের দিকে আকৃষ্ট হয়। সেইরূপ c ও d তারের মধ্যে বিকর্ষণ দেখা যায়।

(খ) তির্যক বা আনত প্রবাহের নিয়ম (Laws of Oblique Currents) : দুইটি তির্য্যক প্রবাহ আকর্ষণ করে যদি তাহারা উভয়েই

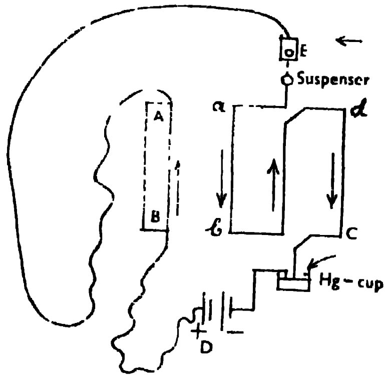




৬৭ নং চিত্র—তির্যক প্রবাহের পারস্পারিক ফল ৬৮ নং চিত্র

ছেদ-বিন্দু (প্রকৃত কিংবা আপাত) হইতে দূরে চলিয়া যায় কিংবা ছেদ-বিন্দুর দিকে আসে এবং বিকর্ষণ করে যদি একটি ছেদবিন্দুর দিকে আসে অপরটি ছেদ-বিন্দু হইতে দূরে সরিয়া যায়।

সমান্তরাল প্রবাহের নিয়মের পরীক্ষা : (ক) AB একটী কাঠের দণ্ডের গায়ে একটি তার লাগান আছে। এই তারটি পাশের *abcd* তারের কাছে রাখা হয়। ঐ *abcd* তারটি দুইটি আয়ত ক্ষেত্রের সমন্বয়ে প্রস্তুত। পৃথিবীর চৌম্বক ক্ষেত্রের আকর্ষণ বিকর্ষণ বোধ করার জন্য এইরূপ ব্যবস্থা করা হয়। কারণ *ab* তারের উপর যে দিকে বলের উদ্ভব হইবে *cd* তারে তড়িৎ প্রবাহের দরুণ বিপরীত দিকে বলের উদ্ভব হইবে। *abcd* তারের নিম্ন প্রান্ত একটি HG পাত্রের সহিত সংযুক্ত ও উপর প্রান্ত একটী পাতলা রাংতা (Tinsel) E হইতে ঝালাই করিয়া ঝুলিয়ে (Suspension) রাখা হইয়াছে। এইবার AB ও *ab*র মধ্যে একই দিকে তড়িৎ প্রবাহ হইলে উহাদের মধ্যে আকর্ষণ হইবে ও বিপরীত দিকে প্রবাহ হইলে বিকর্ষণ হইবে।

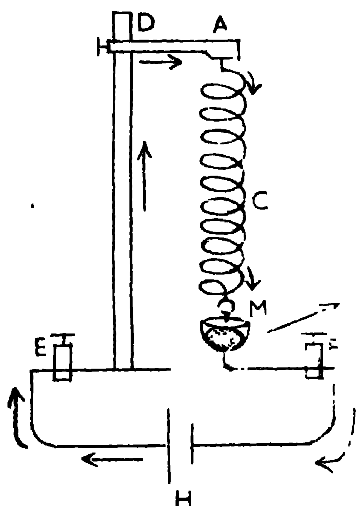


৬৯ নং চিত্র—সমান্তরাল প্রবাহ

(খ) রজেটের কম্পমান কুণ্ডলী—(Roget's Vibrating Spiral) : এই যন্ত্র দ্বারা সমান্তরাল প্রবাহের ক্রিয়া দেখান হয়।

যন্ত্র : (ক) ধাতব স্ক্রু A হইতে তামার বা পিতলের সরু হাল্কা স্প্রীং বা কুণ্ডলী C ঝুলান আছে। কুণ্ডলীর পাকগুলি (turns) খুব কাছাকাছি থাকে। A স্ক্রু B পিতলের চাকতির মধ্য দিয়া যায়। (ii) C কুণ্ডলীর শেষে ধাতব ভার M থাকে। ভারের জন্য কুণ্ডলী একটু প্রসারিত থাকে। (iii) M ভারের শেষে একটি ধাতব কাঁটা (pointer) থাকে। কাঁটাটি G পাত্রে রক্ষিত পারদের মধ্যে একটুখানি ডুবিয়া যায়। (iv) D ধাতব দণ্ডে E এবং পারদ পাত্রে F বন্ধনী-স্ক্রু আঁটা থাকে।

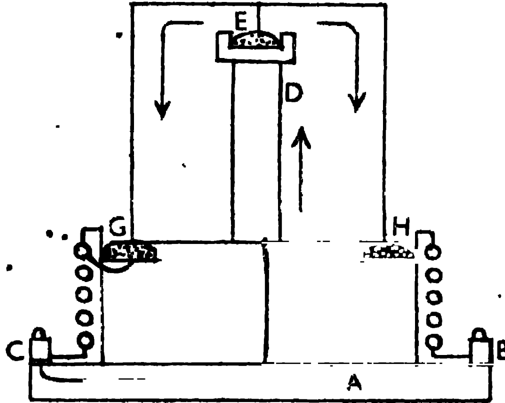
পরীক্ষা : E ও F বন্ধনী-স্ক্রু H ব্যাটারির দুই মেরুর সঙ্গে যোগ কর। তীব্র তড়িৎ প্রবাহ D দণ্ড, A স্ক্রু, C কুণ্ডলীর ও পারদের মধ্য দিয়া বর্তনী সম্পূর্ণ করিয়া প্রবাহিত হয়। কুণ্ডলীর পাকগুলি পরস্পর সমান্তরাল। সমান্তরাল পাকের মধ্য দিয়া একই দিকে তড়িৎ প্রবাহিত হয়। পাকগুলি পরস্পর আকর্ষণ করে; সেইজন্য কুণ্ডলী সংকুচিত হয়। কাঁটাটি পারদ হইতে উপরে উঠিয়া যায়, বর্তনী ছিন্ন হয়, তড়িৎ প্রবাহ বন্ধ হয়। আকর্ষণ বলও অন্তর্হিত হয়। M এর ভারের জন্য স্প্রীং আবার নীচে নামে। কাঁটাটি পারদে ডুবিয়া যায়। বর্তনী আবার সম্পূর্ণ হয়। এইরূপে কুণ্ডলীটি অনবরত উঠানামা করে।



১০ নং চিত্র—রজেটের কম্পমান কুণ্ডলী

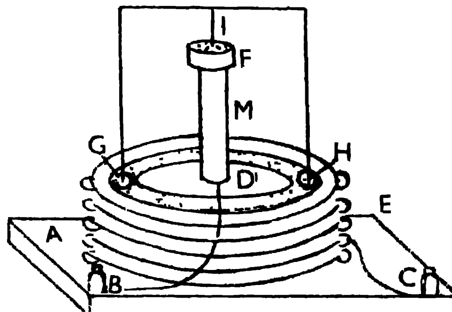
তির্যক প্রবাহের নিয়মের পরীক্ষা :—একটি A কাঠের অনুভূমিক পাটাতনের (base plate) উপর দুইটি যোজক-স্ক্রু B ও C

এবং একখানি পুরু গোল কাঠ লাগান আছে। ইহার চার পাশে একটি অন্তরিত তারের কুণ্ডলী জড়ান আছে। কুণ্ডলীটির তারের একটি প্রান্ত একটি যোজক-স্ক্রুর সহিত সংযুক্ত আর অপর প্রান্তটি পুরু কাঠের ভিতর



৭১ নং চিত্র—তির্যক প্রবাহের নিয়মের পরীক্ষা—যন্ত্রের প্রস্থচ্ছেদ

একটি অনুভূমিক বলয়কার গর্তের মধ্যে অবস্থিত। এই বলয়কার গর্তটি পারদে ভর্তি করা হয়। এই গর্তের কেন্দ্রে একটি পিতলের উল্লম্ব স্তম্ভ D আছে,



৭২ নং চিত্র—তির্যক প্রবাহের নিয়মের পরীক্ষা

স্তম্ভটির উপর একটা বাটি E আছে যাতে কিছু পারদ রাখা হয়। উল্টা U

আকারের তাবের ভার কেন্দ্রে একটি পিন আছে। ঐ পিনটি পিতলের উপর যে পারদের বাটি আছে তার সঙ্গে সংযুক্ত এবং অপর দুটি প্রান্ত বলয়কার পারদ পাত্রে G ও Hর সহিত সংযুক্ত। তীর চিহ্ন দিয়া তড়িৎ প্রবাহ দেখান হইয়াছে। একটি যোজক স্ক্রুর ভিতর দিয়া তড়িৎ D পিতলের স্তম্ভে আসে। তৎপরে দুই পথে প্রবাহিত হইয়া বলয়াকার পারদ পাত্রে প্রবেশ করে। তৎপরে বৃত্তাকারে কুণ্ডলীর ভিতর দিয়া প্রবাহিত হইয়া অপর যোজক-স্ক্রুর মধ্যে আসে। অতএব একটি তারের ভিতর দিয়া উল্লম্ব আর একটির ভিতর দিয়া অনুভূমিক পথে তড়িৎ প্রবাহিত হইয়া থাকে। ইহার ফলে প্রতিক্রিয়া ঘটে এবং U ভাঁজের তারটি ঘুরিতে থাকে। আবর্তনের দিকটি ছবির সাহায্যে দেখান হইয়াছে।

প্রশ্ন

1. How would you demonstrate the magnetic action of electric current ? (Dac. 1940)

2. A current passing through a long wire is so weak that when the wire is stretched over and parallel to a suspended magnetic needle, the needle is not perceptibly affected. Describe and explain an arrangement which would enable you to obtain a movement of the needle by the action of the current. (C. U. 1923)

3. What is an electric circuit ? Describe two methods by which you could detect the existence, and determine the direction of an electric current flowing in the circuit.

(C. U, 1914 ; cf, Cal' 46)

4. A strong electric current is passing through a long wire streched vertically. State clearly how would you detect the direction of the current from its effects by (1) a magnetic needle (2) the rate of vibrations of the magnetic needle, and, (3) a flexible wire carrying current. (Pat, 1929.)

5. You have access to the terminal wires of a hidden battery.

How can you find out which wire is connected to the positive pole of the battery ? (Pat. 1937).

6. Give an idea of the magnetic field due to a stright current. From the observation that two parallel currents attract each other, deduce a general rule for the action of a magnetic field on a conductor carrying a current. (Pat, 1927).

7. Describe experiments to show that a circuit carrying a current behaves like a magnet Under what circumstances will two neighbouring circuits repel each other ? Why ? (All, 1928)

8. Describe the construction of an electro-magnet.

(C. U. 1912, '15, '18, '21, '26, '32, '45).

How does it differ in construction and action from (a) a natural magnet, (b) an artificial magnet ? (C. U. 1918).

9. Describe an arrangement for producing continuous rotation of a wire carrying current when placed in a magnetic field. How is the direction of the current related to the field ?

(C. U. 1917, '19)

10. Describe experiments which illustrate the action between two currents, and that of a magnet on current.

(C. U. 1912, '15, '17, '29)

11. Explain the action of Barlow's wheet or any arrangement for producing continuous rotation by elecrical means.

(C. U. 1912, '18, '22, '26, '30. Pat '37)

12. Describe and explain the principle of action of the Roget's vibrating spiral. (Pat. 1947).

13. A small magnetic needle is suspended on a vertical pivot. How would it place itself and why ?

A wire carrying a current is held horizontally (a) along, (b) perpendicularly to the magnetic needle above its centre.

Explain the effects observed. The current is (a) increased in intensity ; (b) reversed in direction ; What will be the effects ? (C. U. 1919).

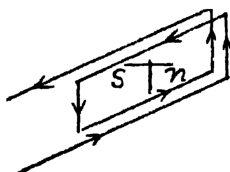
গ্যাল্‌ভ্যানোমিটার (Galvanometer)

৩১। **যন্ত্র :** যে যন্ত্র দিয়া কেবল তড়িতের অস্তিত্ব নির্ণয় করা যায় তাহাকে **গ্যাল্‌ভ্যানোস্কোপ** (Galvanocope) বলে। যে যন্ত্র দিয়া তড়িতের অস্তিত্ব ও প্রবাহের মাত্রা (strength of the current) নির্ণয় করা যায় তাহাকে **গ্যাল্‌ভ্যানোমিটার** বলে। এই যন্ত্রগুলি তড়িতের দরুণ চৌম্বক ক্ষেত্র ও চুম্বকের চৌম্বক ক্ষেত্রের পরস্পর ক্রিয়ার উপর নির্ভর করে।

৩২। **যন্ত্রের নীতি** (Principle of the instrument) :—

যন্ত্রের নীতি দুইটি বিষয়ের উপর নির্ভর করে।

(ক) **তারের বেষ্টনী ও পাকের সংখ্যা** ঃ—অনুভূমিক ভাবে প্রলম্বিত (suspended) সূচী-চুম্বকের উপরে একটি অতি ক্ষীণ (weak) তড়িৎবাহী তার রাখিলে সূচী-চুম্বকের বিক্ষেপের মাত্রা এত কম হয় যে উহা বোঝাই যায় না। এখন যদি একই তড়িৎ-বাহী তারকে সূচী-চুম্বকের চারিপাশ দিয়া আয়তক্ষেত্রের বা বৃত্তের আকারে কয়েকটি বেষ্টনী দেওয়া যায় এবং যদি কুণ্ডলীর তল চৌম্বক মধ্যরেখায় থাকে তবে সূচীচুম্বকের বিক্ষেপের মাত্রা বাড়িয়া যাইবে কারণ অ্যাম্পায়ারের নিয়ম অনুসারে সূচীচুম্বকের প্রত্যেক পাকের উপরের, নীচের, ডাইনের ও বামের তারের মধ্য দিয়া প্রবাহিত তড়িৎ সূচীচুম্বককে একই দিকে বিক্ষিপ্ত করিবে। মনে কর সূচীচুম্বকের উপর দিয়া তড়িৎ দক্ষিণ হইতে উত্তর দিকে যাইতেছে এবং নীচ দিয়া উত্তর হইতে দক্ষিণ দিকে যাইতেছে। সুতরাং সূচীচুম্বকের উত্তর মেরু উপর, নীচ, ডান ও বামের প্রত্যেক তড়িৎ প্রবাহ দ্বারা **পশ্চিম** দিকে বিক্ষিপ্ত হইবে এবং এই দিকে চুম্বকের বিক্ষেপ চারগুণ বাড়িয়া যাইবে। যদি তারের পাকের সংখ্যা $= n$ হয় তবে মোট বিক্ষেপ একটি পাকের বিক্ষেপের চেয়ে n গুণ বাড়িয়া যাইবে।



৭৩ নং চিত্র
চুম্বকের উপর বেষ্টনী ও পাকের প্রভাব

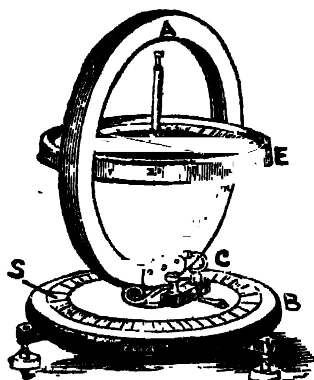
সুতরাং কুণ্ডলীর দরুণ চৌম্বক ক্ষেত্র প্রবাহ মাত্রার (current strength) ও পাকের সংখ্যার উপর নির্ভর করে। এই দুই ব্যবস্থায় প্রবাহ ক্ষীণ হইলেও বিক্ষেপ বর্ধিত হয়। বিক্ষেপের অভিমুখ দেখিয়া প্রবাহের অভিমুখও জানা যায়।

(খ) **দুইটি চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রভাব ঃ** উপরোক্ত সূচীচুম্বকটি দুইটি চৌম্বক ক্ষেত্রের দ্বারা প্রভাবান্বিত হয়—একটী তড়িৎ প্রবাহ দ্বারা সৃষ্ট চৌম্বক ক্ষেত্র অপরটি পার্থিব চৌম্বক ক্ষেত্র। তড়িৎ চৌম্বক ক্ষেত্রের বলরেখা কুণ্ডলীর তলের উপর অভিলম্ব হয় সুতরাং এই চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রভাবের দরুণ সূচীচুম্বক চৌম্বক মধ্যরেখার অভিলম্বে আসিতে চেষ্টা করে। পার্থিব চৌম্বক ক্ষেত্র সূচী-চুম্বককে চৌম্বক মধ্যরেখায় আনিতে চেষ্টা করে। তড়িৎবাহী কুণ্ডলীর দরুণ চৌম্বক বলকে **বিক্ষেপক বল** (Deflecting force) এবং পার্থিব চৌম্বক বলকে **নিয়ন্ত্রক বল** (Controlling force) বলে। সূচীচুম্বক এই দুই বলের লব্ধি বলের অভিমুখে স্থির হইবে। সুতরাং প্রত্যেক গ্যাল্‌ভ্যানোমিটারে একটি কুণ্ডলী ও একটি সূচী-চুম্বক থাকা চাই।

৩৩। **গ্যাল্‌ভ্যানোমিটারের প্রকার ঃ** গ্যাল্‌ভ্যানোমিটার দুই প্রকার : (ক) **প্রলম্বিত চুম্বক** (Suspended magnet) **গ্যাল্‌ভ্যানোমিটার**—ইহাতে চুম্বক সচল হয় এবং কুণ্ডলী স্থির থাকে। যথা Astatic, Tangent ও Sine গ্যাল্‌ভ্যানোমিটার। (খ) **প্রলম্বিত কুণ্ডলী গ্যাল্‌ভ্যানোমিটার**—ইহাতে কুণ্ডলী সচল হয় এবং চুম্বক স্থির থাকে।

৩৪। **Tangent গ্যাল্‌ভ্যানোমিটার : যন্ত্র ঃ** (ক) একটি বৃত্তাকার উল্লম্ব (vertical) কাঠের ফ্রেম Aর চতুর্দিকে অন্তরিত সরু তামার তারের কয়েক শত পাক থাকে। (খ) সরু তারের শেষ প্রান্ত একটি অনুভূমিক গোল পাটাতন (base) Bর উপর স্থাপিত দুই বন্ধনী-স্ক্রু C ও Dর সঙ্গে যুক্ত থাকে। কুণ্ডলীতে মোটা তারেরও তিন চারটা পাক থাকে। এই তারের শেষ প্রান্ত দুইটি ভিন্ন যোজক-স্ক্রুর সহিত যুক্ত থাকে। প্রয়োজন মত মোটা তারের ভিতর দিয়া তীব্র (strong) প্রবাহ এবং সরু তারের মধ্য দিয়া ক্ষীণ (weak) প্রবাহ চালান হয়। (গ) B পাটাতনের উপর একটি

বৃত্তাকার স্কেল S আঁকা থাকে। (ঘ) A ফ্রেম S স্কেলের উপর উল্লম্ব অক্ষের চারিপাশে আবর্তন করিতে পারে (এই স্কেল sine গ্যাল্‌ভ্যানোমিটারে দরকার হয়)। A ফ্রেমের নীচের P কাঁটা A ফ্রেমের আবর্তনের সঙ্গে স্কেলের উপর ঘুরিতে পারে। (ঙ) A ফ্রেমের মধ্যখানে একটি অনুভূমিক বৃত্তাকার চাকৃতি E আঁটা থাকে। ইহাকে অনুভূমিক ভাবে ঘোরান যায়। এই চাকৃতিকে চারিটি পাদে (quadrant) ভাগ করা হয়। প্রতি পাদে 0° হইতে ৯০° অংশাঙ্কিত করা হয়। (চ) চাকৃতির তথা কুণ্ডলীর কেন্দ্রে একটি ক্ষুদ্র



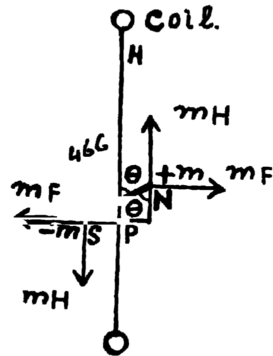
৭৪ নং চিত্র
Tan গ্যাল্‌ভ্যানোমিটার

সূচী-চুম্বক M অনুভূমিক ভাবে সরু পাকশূন্য (unspun) রেশম সূতা দিয়া ঝুলান থাকে। চাকৃতির কেন্দ্রের মধ্য দিয়া চুম্বকের ঘূর্ণাক্ষ অতিক্রম করে। সূচীচুম্বকের সঙ্গে সূচী-চুম্বকের অক্ষের সমকোণে একটি দীর্ঘ কাঁটা (pointer) P′ যুক্ত থাকে। সূচীচুম্বকের বিক্ষেপের সঙ্গে এই কাঁটা E চাকতির উপর ঘোরে। চুম্বকের ঘূর্ণাক্ষ (axis of rotation) ও কুণ্ডলীর অক্ষ এক। (ছ) সূচীচুম্বক ও E চাকৃতি কাঁচের ঢাকনা যুক্ত বাক্সের ভিতরে থাকে। (জ) পাটাতনে স্থাপিত গোলাকার দর্পণে P′ কাঁটার প্রতিবিম্ব দেখিয়া লম্বন-দোষ অপনোদন করা হয়। (ঝ) পাটাতনের নীচের তিনটি স্ক্রু দ্বারা যন্ত্রকে লেভেল করা হয়। (ঞ) অনেক যন্ত্রে বিভিন্ন পাকের একাধিক কুণ্ডলী থাকে।

ব্যবহার পদ্ধতি: (ক) যন্ত্রকে স্ক্রু ঘুরাইয়া লেভেল কর যাহাতে কুণ্ডলী উল্লম্ব সমতলে থাকে এবং সূচীচুম্বক স্বাধীনভাবে অনুভূমিক তলে ঘুরিতে পারে। (খ) অন্য চুম্বক বা চুম্বকীয় পদার্থ নিকট হইতে সরাও। (গ) A

ফ্রেমকে ঘোরাও যাহাতে কুণ্ডলী চৌম্বক মধ্যরেখায় আসে। অর্থাৎ কুণ্ডলী ও চুম্বক একই উল্লম্ব তলে থাকে। এই অবস্থায় P' কাটার দুই প্রান্ত স্কেলের দুই 0° দাগে থাকিবে। (ঘ) এখন বন্ধনী-স্ক্রুর সঙ্গে তাড়িৎ কোষের সংযোগ করিয়া কুণ্ডলীর মধ্য দিয়া তড়িৎ প্রবাহিত করাও। সূচীচুম্বক বিক্ষিপ্ত হইবে। P' কাঁটার অবস্থান দেখিয়া বিক্ষেপ'কোণের পঠন লও। মনে কর ইহা $= \theta^{\circ}$

নীতি ও গননা : আমরা পূর্বে দেখিয়াছি যে Tangent নিয়ম **সমবল** (uniform) চৌম্বক ক্ষেত্রে খাটে। কোন বৃত্তাকার প্রবাহের কেন্দ্রের চারিপাশে ক্ষুদ্র অঞ্চলে তড়িচ্চৌম্বক ক্ষেত্রকে সমমাত্রার এবং বৃত্তের তলের অভিলম্বে ক্রিয়াশীল ধরা হয় (২৩ অনুচ্ছেদ)। যদি সূচীচুম্বক খুব ছোট হয় তবে সূচীচুম্বকের দৈর্ঘ্য সমমাত্রার তড়িচ্চৌম্বক ক্ষেত্রের সীমার মধ্যে থাকে। মনে কর কুণ্ডলীর কেন্দ্রে প্রবাহের জন্য তড়িচ্চুম্বকীয় বল $= F$, চুম্বকের মেরুমাত্রা $= m$ ∴ চুম্বকের প্রত্যেক মেরুর উপর বল $= mF$. ইহারা পরস্পর বিপরীত দিকে ক্রিয়া করে এবং ইহারা একই তলে অবস্থিত হয় বলিয়া দ্বন্দ্ব (couple) গঠন করে। ইহাকে **বিক্ষেপক** (Deflecting) দ্বন্দ্ব বলে। এই দ্বন্দ্ব চুম্বককে কুণ্ডলীর তলের অভিলম্বে অর্থাৎ পূর্ব-পশ্চিমে আনিতে চেষ্টা করে। কারণ কুণ্ডলী চৌম্বক মধ্যরেখায় অবস্থিত আছে। এখন মনে কর পার্থিব চৌম্বক ক্ষেত্রের অনুভূমিক মাত্রা $= H$. সুতরাং mH বল একই তলে অবস্থিত বলিয়া চুম্বকের দুই মেরুর উপর পরস্পর বিপরীত দিকে ক্রিয়া করিয়া আর একটি দ্বন্দ্ব গঠন করে। ইহাকে **নিয়ন্ত্রক** (Controlling) দ্বন্দ্ব বলে। এই দ্বন্দ্ব চুম্বককে চৌম্বক মধ্যরেখায় অর্থাৎ উত্তর-দক্ষিণে আনিতে চেষ্টা করে।



১৫ নং চিত্র—Tan গ্যাল্‌ভ্যানোমিটারের গণনা

এই দুই দ্বন্দ্বের ক্রিয়ায় চুম্বক চৌম্বক মধ্যরেখার সহিত θ কোণে স্থির

হয়। এই সাম্য অবস্থায় দুই দ্বন্দের ভ্রামক সমান ও বিপরীত হয়। মনে কর দুই mH বলের মধ্যের অভিলম্ব (perpendicular) দূরত্ব $=$ p, দুই mF বলের মধ্যে অভিলম্ব দূরত্ব $=b$. $\therefore$ $m\text{H.p}=m\text{F.}b$ $\therefore$ $\text{F}=\text{H.}\frac{p}{b}$

$$\therefore \text{F}=\text{H.} \tan\theta \left(\because \frac{p}{b}=\tan\theta\right)$$

যদি পাকের সংখ্যা $=n$, প্রত্যেক পাকের গড় ব্যাসার্ধ $=r$, প্রবাহ মাত্রা $=i$ (e.m.u) হয় তবে $\text{F}=\frac{2\pi ni}{r}$ $\therefore$ $i=\frac{\text{H}}{2\pi n/r}.\tan\theta$

এখানে $\frac{2\pi n}{r}$ একই যন্ত্রে ধ্রুবক থাকে। ইহাকে **গ্যাল্‌ভ্যানোমিটার ধ্রুবক** (Galvanometer Constant) বলে এবং G দ্বারা প্রকাশিত হয়।

$$\therefore \quad i=\frac{\text{H}}{\text{G}}\tan\theta.$$

পৃথিবীর একই জায়গায় H সমান থাকে $\therefore$ একই জায়গায় একই গ্যাল্‌ভ্যানোমিটার ব্যবহার করিলে $\frac{\text{H}}{\text{G}}$ ধ্রুবক হয় $\therefore$ $i=\text{K}\tan\theta$; K কে **লঘু-গুণক** (Reduction Factor) বলে।

অতএব বিক্ষেপ কোণের Tangentকে লঘু-গুণক দিয়া গুণ করিলে সাক্ষাৎভাবেই প্রবাহ i পাওয়া যায়। সুতরাং **প্রবাহ $i \propto$ বিক্ষেপ কোণের tangent.** সেইজন্য এই যন্ত্রকে Tangent গ্যাল্‌ভ্যানোমিটার বলে।

উপরোক্ত সমীকরণে iকে $e.m.u$ এককে প্রকাশিত হইয়াছে। যদি i অ্যাম্পিয়ারে প্রকাশিত হয় তবে, $i=$ ১০K. $\tan\theta$ কারণ ১ অ্যাম্পিয়ার $=\frac{১}{১০}$ C. G. S $e.m.u.$

সাবধানতা: যন্ত্রের ব্যবহারে নিম্নলিখিত বিষয় মনে রাখিবে:

(ক) প্রথমে কুণ্ডলীকে ও সূচী-চুম্বককে চৌম্বক মধ্যরেখায় রাখিবে। দুইটি চৌম্বকক্ষেত্র সমকোণে থাকিলে Tangent নিয়ম খাটে। চৌম্বক মধ্য-

রেখার অভিলম্বে কুণ্ডলী রাখিয়া তীব্র তড়িৎ প্রবাহিত করিলেও সূচীচুম্বক নড়িবে না।

(খ) চুম্বকটি বৃত্তাকার E চাকতির কেন্দ্রে অবস্থিত নাও হইতে পারে। এই ভুল অপনোদনের জন্য P′ কাঁটাটির দুই প্রান্তের পঠন লইয়া ইহাদের গড়কে θ ধরিতে হয়। (গ) রেশম সূতায় মোচড় (torsion) থাকার দরুণ হয়ত সূচীচুম্বক চুম্বকীয় মধ্যরেখায় নাও থাকিতে পারে। এই ভুল অপনোদনের জন্য বিপরীত মুখে তড়িৎ প্রবাহিত করিয়া বিপরীত দিকে বিক্ষেপ কোণ মাপা হয়। এইরূপে চারিটি কোণের গড় লওয়া হয়। (ঘ) θর মান ৩০° হইতে ৬০° এর মধ্যে হইলে θ পঠনে ভুল হইলেও প্রবাহের মাত্রা নির্ণয়ে ভুল কম হয়। O°র কাছাকাছি বিক্ষেপ হইলে যন্ত্রটি সুবেদী হয়। এই যন্ত্রে ৯০°র বেশী বিক্ষেপ হয় না। (ঙ) $F \propto \frac{n}{r}$ ∴ r কে ছোট করিলে এবং nকে বাড়াইলে বিক্ষেপ বাড়িবে। (চ) লম্বন-দোষ অপনোদনের জন্য কাঁটার উপর লম্বভাবে দর্পণে প্রতিবিম্ব দেখিবে। (ছ) ছোট চুম্বক লইবে নচেৎ চুম্বকের দৈর্ঘ্য কেন্দ্রে সম ক্ষেত্রের বাহিরে চলিয়া যাইবে।

Tan গ্যালভ্যানোমিটারের সুবেদী হওয়ার সর্ত: nকে বাড়াইলে এবং r ও Hকে কমাইলে θ বাড়ে কিন্তু nকে বাড়াইলে রোধ (resistance) বাড়ে সুতরাং i কমে অতএব nকে বেশী বাড়ান যায় না। rকে খুব কমান যায় না কারণ সূচীচুম্বকের একটি নির্দিষ্ট দৈর্ঘ্য থাকে। সুতরাং একমাত্র Hকে কমান হয়। এমন জায়গায় একটি দণ্ড-চুম্বক রাখিতে হয় যাহাতে Hকে প্রতিরোধ করে।

অঙ্ক: A current of 10 amperes produces a deflection of 45° in a tangent galvanometer. What is the value of the current which will produce a deflection of 30° in the same galvanometer (Cal. 1933)

∵ $i = ১০K \tan\theta$ ∴ $১০ = ১০K \tan ৪৫° = ১০K$ ∴ $K = ১$

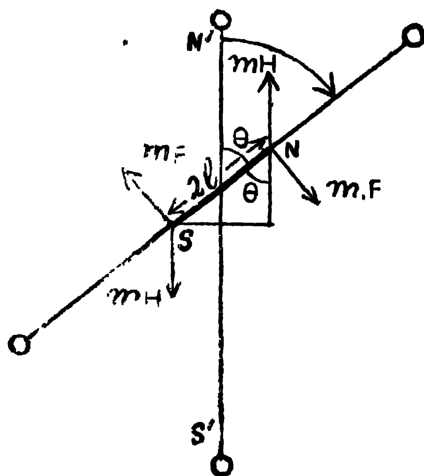
মনে কর ৩০° বিক্ষেপ উৎপন্ন করিতে i অ্যাম্পিয়ার প্রবাহ দরকার

∴ $i = ১০K \tan ৩০° = ১০ \times ১ \times \sqrt{৩} = ৫.৭$ অ্যাম্পিয়ার।

৩৫। Sine গ্যাল্ভ্যানোমিটার ঃ এই যন্ত্র Tan গ্যাল্ভ্যানোমিটারেরই মত কেবল কুণ্ডলীটি পাটাতনে স্থাপিত S স্কেলের কেন্দ্রের মধ্য দিয়া অতিক্রান্ত একটি লম্ব (vertical) অক্ষের চারিপাশে ঘুরিতে পারে। এবং কুণ্ডলীর আবর্তন বৃত্তাকার S স্কেলের উপর স্থাপিত কাঁটা P'র আবর্তন দ্বারা মাপা হয়।

ব্যবহার পদ্ধতি ঃ (ক) যন্ত্রকে লেভেল কর যাহাতে উল্লম্ব কুণ্ডলী উল্লম্ব সমতলে থাকে। (খ) কুণ্ডলীকে চৌম্বক মধ্যরেখায় রাখ। এই অবস্থায় P' কাঁটা $0°-0°$ দাগে মিলিয়া যায়। (গ) কুণ্ডলীর মধ্য দিয়া তড়িৎ প্রবাহিত করাও। চুম্বক বিক্ষিপ্ত হয়। (ঘ) কুণ্ডলীর অবস্থান P' কাঁটার সাহায্যে পড। (ঙ) এখন বিক্ষেপের অভিমুখে কুণ্ডলীকে ঘোরাও যতক্ষণ না সূচী-চুম্বক পুনরায় কুণ্ডলীর তলে আসে অর্থাৎ P' কাঁটা $0°-0°$ দাগে না আসে। (চ) এখন P' কাঁটার অবস্থান পাঠ কর। (ছ) কাঁটার দুই পঠনের পার্থক্য $\theta°$ = চৌম্বক মধ্যরেখা হইতে কুণ্ডলীর আবর্তন।

নীতি ও গণনা ঃ মনে কর চুম্বকের মেরু মাত্রা $= m$, কুণ্ডলীর কেন্দ্রে তড়িচ্চুম্বকীয় বল $= F$, চুম্বকের দৈর্ঘ্য $= 2l$, পার্থিব চৌম্বক ক্ষেত্রের অনুভূমিক মাত্রা $= H$, দুই mH বলের মধ্যে অভিলম্ব দূরত্ব $= SP$. সাম্য অবস্থায় চুম্বকের উপরে দুইটি দ্বন্দ্ব ক্রিয়া করে :—একটি দ্বন্দ্ব (mF, mF) কুণ্ডলীর অভিলম্বে সুতরাং চুম্বকের অক্ষের অভিলম্বে ক্রিয়া করে ; ইহা **বিক্ষেপক দ্বন্দ্ব**। অপরটী পার্থিব ক্ষেত্রের জন্য (mH, mH) চৌম্বক মধ্যরেখার সমান্তরালে ক্রিয়া করে।



৭৬ নং চিত্র

ইহা নিয়ন্ত্রক দ্বন্দ। সাম্য অবস্থায় ইহাদের ভ্রামক সমান ও বিপরীত হয়। (চিত্রে NS চুম্বক, O O কুণ্ডলী)

বিক্ষেপক দ্বন্দের ভ্রামক $= mF \times 2l$; নিয়ন্ত্রক দ্বন্দের ভ্রামক $= mH \times SP = mH \times 2l, \sin\theta$

$\therefore$ সাম্য অবস্থায় $mF \times 2l = mH \times 2l \sin\theta$ $\therefore$ $F = H \sin\theta$

মনে কর কুণ্ডলীর গড় ব্যাসার্ধ $= r$, প্রবাহ মাত্রা $= i$ $(C.G.S)$; পাকের সংখ্যা $= n$, লঘুগুণক $= K$

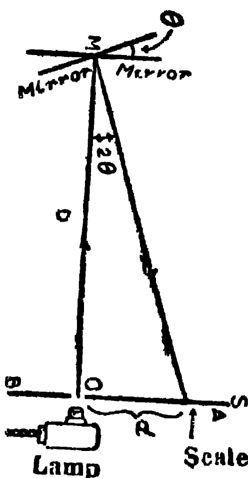
$$\therefore F = \frac{2\pi ni}{r} = H \sin\theta \quad \therefore \quad i = \frac{rH \sin\theta}{2\pi n} = K \sin\theta$$

$i \propto \sin\theta$ সুতরাং এই গ্যাল্‌ভ্যানোমিটারকে sin গ্যাল্‌ভ্যানোমিটার বলে।

i (অ্যাম্পিয়ারে) $=$ ১০$K\sin\theta$

৩৬। **দুই গ্যাল্‌ভ্যানোমিটারের তুলনা :** (ক) Tan যন্ত্র অপেক্ষা Sin যন্ত্র বেশি সুবেদী। মনে কর যন্ত্রের লঘুগুণক $= K$. মনে কর দুই যন্ত্রকে একই বর্তনীতে রাখা হইল সুতরাং একই প্রবাহ দুই যন্ত্রের মধ্য দিয়া যাইবে। মনে কর $i = K$. $\therefore$ Tan যন্ত্রে বিক্ষেপ কোণ θ = ৪৫°, Sin যন্ত্রে $\theta =$ ৯০°, Sin যন্ত্রে কোণ বেশী হওয়ায় কোণ মাপার ভুল কম হয়। (খ) Tan যন্ত্রে $i \propto$ বিক্ষেপ কোণের tangent ; Sin যন্ত্রে $i \propto$ কুণ্ডলীর আবর্তন কোণের sin. (ঘ) শূন্য ডিগ্রির কাছাকাছি ছাড়া অন্য মানের কোণের sine অপেক্ষা tangent বড়। সুতরাং Tangent যন্ত্র তীব্র প্রবাহের পক্ষে এবং sine যন্ত্র ক্ষীণ প্রবাহের পক্ষে ভাল ; যখন θ° = ৩° বা ৪° তখন দুই যন্ত্রই ভাল। (গ) Sine যন্ত্রে চুম্বক সব সময়েই কুণ্ডলীর সমান্তরালে থাকে সুতরাং চৌম্বক ক্ষেত্র অসম হইলে কোন ক্ষতি হয় না। Tan যন্ত্রে অসম চৌম্বক ক্ষেত্র হইলে ভুল হয়। (ঘ) উপরোক্ত কারণে অবলম্বন রেশম সূতায় কখনও পাক ধরে না। (ঙ) কোন কোণের sin একের চেয়ে বেশী হয় না সুতরাং এই যন্ত্রের প্রসর কম। সুতরাং sin

যন্ত্রে ইর সর্বোচ্চ মান K হয়। যদি কোন প্রবাহের মান K অপেক্ষা বেশী হয় তবে কুণ্ডলী ঘুরাইলে সূচীচুম্বকও আগে আগে ঘুরিয়া যাইবে।



৭৭ নং চিত্র

৩৭। আলো ও স্কেল ব্যবস্থা :— L ল্যাম্পের সরু ছিদ্র (slit) হইতে আলোক রশ্মি বাহির হইয়া উত্তল লেন্সের মধ্য দিয়া OD পথে ১ মিটার ব্যাসার্ধের অবতল দর্পণ M তে পড়িয়া প্রতিফলিত হইয়া BS সেঃ মিঃ স্কেলে পড়ে। M দর্পণ গতিশীল চুম্বকের বা কুণ্ডলীর সঙ্গে যুক্ত থাকে এবং L হইতে ১ মিটার দূরে থাকে। লেন্সকে এদিক-ওদিক সরাইয়া ল্যাম্পের ছিদ্রের স্পষ্ট প্রতিবিম্ব ঈষদচ্ছ BS স্কেলে ফেলা হয়। চুম্বকের বিক্ষেপ কোণ θ° = দর্পণের বিক্ষেপ কোণ θ° কিন্তু দর্পণ হইতে প্রতিফলিত প্রতিবিম্বের বিক্ষেপ কোণ $= 2\theta^\circ$. যদি স্কেল ও দর্পণের মধ্যে লম্ব দূরত্ব = D হয় এবং প্রতিবিম্ব স্কেলে যে দূরত্ব সরিয়া যায় তাহা d হয় তবে $\tan 2\theta^\circ = d \mid D$। 2θ খুব কম (৪০°এর কম) হওয়া উচিত।

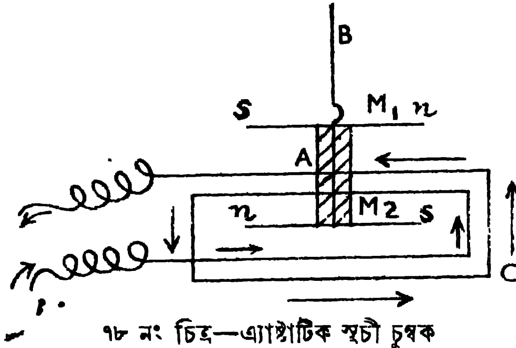
$$\therefore \tan 2\theta = 2\theta \quad \therefore 2\theta = \frac{d}{D} \quad \text{বা} \quad \theta = \frac{d}{2D}$$

৩৮। এ্যাষ্টাটিক সূচী (Astatic Needles) **:**

এ্যাষ্টাটিক যুগ্ম সূচীচুম্বকে (ক) এক জোড়া এক আকৃতির ও একই মেরু মাত্রার দুইটি ক্ষুদ্র সূচীচুম্বক M_1 ও M_2 থাকে। (খ) ইহারা একটু উপর নীচে পরস্পর সমান্তরালে থাকে। ইহাদের ঠিক মাঝখানে একটি ধাতব দণ্ড A তে দৃঢ়ভাবে আঁটা থাকে। (গ) ইহাদের বিপরীত মেরু একদিকে থাকে।

এইরূপ আদর্শ যুগ্ম-চুম্বকে একটির উপর দ্বন্দ অপরটির উপর দ্বন্দের দ্বারা প্রশমিত হয় সুতরাং ইহাদের লব্ধি ভ্রামক শূন্য হয়। এই যুগ্ম-চুম্বককে সমমাত্রার ক্ষেত্রে রেশম সূতা দিয়া ঝুলাইলে শুধু চৌম্বক মধ্যরেখায় নহে পরন্তু যে ইহা কোন অবস্থানে স্থির থাকিবে। পার্থিব চৌম্বক ক্ষেত্রের নিয়ন্ত্রণকারী বল এই

যুগ্ম-চুম্বকের উপর কোন ক্রিয়া করে না। এখন যদি নীচের চুম্বকের অক্ষের সমান্তরালে তারের কুণ্ডলী জড়ান যায় তবে তারের মধ্যে তড়িৎ প্রবাহিত



৭৮ নং চিত্র—এ্যাষ্টাটিক সূচী চুম্বক

করাইলে দুইটি চুম্বকই একই দিকে বিক্ষিপ্ত হয় এবং বিক্ষেপ কেবল মাত্র রেশম সুতার মোচড় বা ব্যবর্তন (torsion) দ্বারা নিয়ন্ত্রিত হয়। কার্যতঃ হুবহু সমান মেরুমাত্রার দুইটি চুম্বক পাওয়া সম্ভব হয় না, তবে দুইটি কাছাকাছি মেরু মাত্রার চুম্বক লওয়া হয়। এখন এইরূপ যুগ্ম-চুম্বক পার্থিব ক্ষেত্রে ক্ষীণ চুম্বকের মত আচরণ করে এবং চুম্বক মধ্যরেখায় অবস্থান করে। সুতরাং এইরূপ অবস্থায় পার্থিব চৌম্বক ক্ষেত্রের বল ও সুতার ব্যবর্তন চুম্বককে চৌম্বক মধ্যরেখায় আনিতে চেষ্টা করে সুতরাং ইহা **নিয়ন্ত্রক** বল। তড়িচ্চুম্বকীয় বল ইহাকে চৌম্বক মধ্যরেখা হইতে বিক্ষেপ করিতে চেষ্টা করে। ইহা **বিক্ষেপ** বল। এখানে দুইটি চুম্বকের চুম্বকীয় ভ্রামক যথাক্রমে M_1 ও M_2 এবং $M_1 > M_2$ হইলে যুগ্ম-চুম্বকের ভ্রামক $= M_1 - M_2$ হয় কিন্তু দুইটি বিসম মেরু পরস্পর কাছাকাছি থাকায় পার্থিব চৌম্বক ক্ষেত্রের দরুণ নিয়ন্ত্রক বল $(M_1H - M_2H)$ খুব সামান্য হয় সুতরাং খুব সামান্য প্রবাহের দরুণ যুগ্ম-চুম্বকের বিক্ষেপ বেশী হয়। ১০° হইতে ১৫° বিক্ষেপের মধ্যে $i \propto$ বিক্ষেপ কোণ।

৩৭। এ্যাষ্ট্যাটিক গ্যালভ্যানোমিটার: এই যন্ত্রে এ্যাষ্টাটিক যুগ্ম চুম্বক M_1 ও M_2 কে পাকশূন্য রেশম সুতা B দিয়া ঝুলান হয়। নীচের

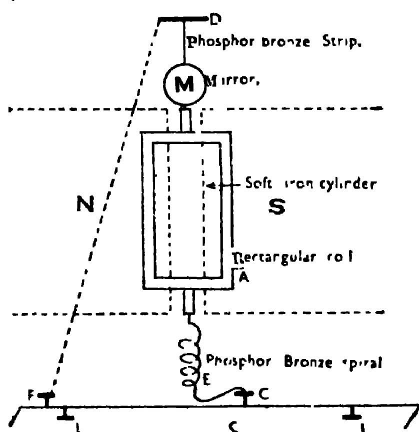
চুম্বক M_2 অন্তরিত তারের কয়েক শত পাকযুক্ত আয়ত ক্ষেত্রিক কুণ্ডলী Aর মধ্যে অবস্থিত হয়। M_1 চুম্বক কুণ্ডলীর উপর থাকে। চুম্বকের সমকোণে আটা একটি এ্যালুমিনিয়াম কাঁটা বৃত্তাকার স্কেলের উপর ঘুরিতে পারে। কর্ক-স্ক্রু নিয়মের সাহায্যে দেখা যায় কুণ্ডলীর পাকের প্রত্যেক অনুভূমিক বা উল্লম্ব অংশের তড়িৎ M_1 চুম্বকের উত্তর মেরুকে একই দিকে বিক্ষিপ্ত করে। পার্থিব চৌম্বক ক্ষেত্রের নিয়ন্ত্রক বল যুগ্ম-চুম্বকে অতি সামান্য অনুভূত হয়। সুতরাং অতি ক্ষীণ প্রবাহের জন্য বিক্ষেপ বেশী হয়। লর্ড কেল্‌ভিনের যন্ত্রের দ্বারা এক অ্যাম্পিয়ার প্রবাহের দশ কোটি ভাগের এক ভাগ মাপা হইত।

এই সকল গ্যাল্‌ভ্যানোমিটার তড়িতের উপস্থিতি দেখিবার জন্য অর্থাৎ নিষ্প্রবাহ বিন্দু (Null point) দেখিবার জন্য ব্যবহৃত হয়।

৪০। প্রলম্বিত কুণ্ডলী গ্যাল্‌ভ্যানোমিটার ঃ

আজকাল পরীক্ষাগারে ব্যবহৃত প্রায় সব গ্যাল্‌ভ্যানোমিটারই প্রলম্বিত কুণ্ডলী পর্য্যায়ভুক্ত।

নীতি ঃ এই যন্ত্রের কার্য্য কোন চৌম্বক ক্ষেত্রে তড়িৎবাহী আয়তক্ষেত্রিক কুণ্ডলীর আবর্তনের উপর নির্ভর করে।



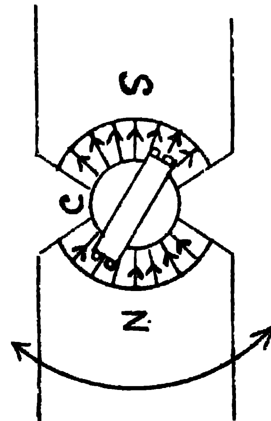
৭৯ নং চিত্র
—প্রলম্বিত কুণ্ডলী গ্যাল্‌ভ্যানোমিটার

যন্ত্রের বিবরণ ঃ এই গ্যাল্‌ভ্যানোমিটারের অনুভূমিক ছেদ ও উল্লম্ব ছেদ দুইটি ছবিতে দেখান হইল। খুব শক্তিশালী একটি অশ্বক্ষুরাকৃতি NS চুম্বক লওয়া হয়। আজকাল Alnico চুম্বকই ব্যবহৃত হইয়া থাকে। উহার দুই মেরুর মধ্যে দুইটি স্তম্ভাকৃতি উল্লম্ব গর্ত কাটা হয়। গর্তের মধ্যে গর্তের সহিত একই অক্ষে অবস্থিত একটি কাঁচা লোহার সিলেট

স্তম্ভক (cylinder) রাখা হয়। এই স্তম্ভকের চারিপাশে একটি হাল্কা ধাতুর পাতের তৈয়ারী আয়তক্ষেত্রিক কাঠাম থাকে। উহার গায়ে কয়েকশত পাকের সরু অন্তরিত তামার তারের কুণ্ডলী আছে। কুণ্ডলীর উপর দিকে একটি চুলের মত Phosphor Bronze পাতের (strip) সাহায্যে কুণ্ডলীটি পিতলের দণ্ড D হইতে ঝুলান আছে। কুণ্ডলীর নিচের মুখটি একটি সরু Phosphor Bronze তারের সর্পিল কুণ্ডলী E র সহিত সংযুক্ত। এই সর্পিল কুণ্ডলীর অপর দিক এই যন্ত্রের একটি যোজক-স্ক্রু C র সহিত সংযুক্ত, আর D অপর স্ক্রু F র সহিত সংযুক্ত।

আয়তক্ষেত্রিক কুণ্ডলীর উপর দিকে একটি এক মিটার ব্যাসার্ধের হাল্কা অবতল দর্পণ M লাগান আছে। সমস্ত যন্ত্রটি একটি পিতলের আবরণের মধ্যে থাকে এবং সমস্ত যন্ত্রটি একটি ভারী পাটাতন H র উপর অবস্থিত। পাটাতনের নিচে তিনটি লেভেল স্ক্রু লাগান আছে। ঐ পিতলের আবরণের যার পিছনে অবতল দর্পণ অবস্থিত সামনে একখানি কাঁচ লাগান থাকে যার ভিতর দিয়া আলোক রশ্মি অবতল দর্পণে পতিত হয়।

শক্তিশালী চুম্বকের মাঝে যে স্তম্ভকটি আছে তাহার সাহায্যে লোহার চুম্বকীয় বলরেখা ঘন সন্নিবিষ্ট করা হয় এবং চুম্বকীয় বলরেখাগুলি প্রায় ছেদের কেন্দ্রাভিমুখী হইয়া থাকে। ইহাকে Radial চুম্বকক্ষেত্র বলা হয়। এইরূপ চুম্বকক্ষেত্রে কুণ্ডলটি প্রলম্বিত থাকার দরুণ সকল অবস্থাতে প্রায় ১২০° মধ্যে সম সংখ্যক চুম্বকীয় বলরেখার সহিত সংশ্লিষ্ট থাকে। কুণ্ডলীটি ১২০°র বাহিরে যাইতে পারে না, যাইলেই লৌহ স্তম্ভককে স্বীয় স্থানে রাখার জন্য পাটাতন স্পর্শ করে।



৮০ নং চিত্র—Radial চুম্বক ক্ষেত্র

Phosphor bronze নির্মিত সরু পাতের দ্বারা কুণ্ডলীটি ঝুলান আছে। কারণ পাতের তলের ক্ষেত্রফল বেশী সেইজন্য তড়িত প্রবাহের সময় যে তাপ সঞ্চার হইয়া থাকে তাহা সহজে বিকীর্ণ হইয়া যায়।

যন্ত্রের নীতি: মনে কর মেরুদ্বয় ও লৌহস্তম্ভকের মধ্যে সমমাত্রার চুম্বকক্ষেত্র বর্তমান। উহার মাত্রা H। আগেই দেখান হইয়াছে যে, যে কোনও অবস্থানেই আয়তক্ষেত্রিক কুণ্ডলীটি সমমাত্রা চুম্বক ক্ষেত্রের সহিত সংশ্লিষ্ট থাকে।

আমরা পূর্বে দেখিয়াছি যদি A ক্ষেত্রফল সম্পন্ন কোনও কুণ্ডলীর মধ্য দিয়া i তড়িৎ প্রবাহ ঘটে আর ঐ কুণ্ডলীটি যদি চুম্বকীয় বলরেখার সমতলে অবস্থিত হয় তাহা হইলে ঐ কুণ্ডলীটির উপর ক্রিয়াশীল দ্বন্দ্বের ভ্রামক $= HnAi$, হয়। ইহা বিক্ষেপ দ্বন্দ্ব। মনে কর কুণ্ডলীর মধ্য দিয়া তড়িৎ প্রবাহিত হইলে কুণ্ডলীটি θ কোণে বিক্ষিপ্ত হইয়া সাম্য অবস্থায় আসে। এখানে কুণ্ডলীর আবর্তন ঝুলাইবার তারে মোচড় দ্বারা বাধা প্রাপ্ত হয়।

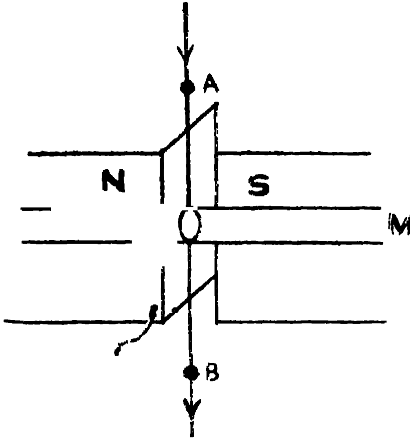
∴ সাম্য অবস্থায় বিক্ষেপক দ্বন্দ্বের ভ্রামক = মোচড় দ্বন্দ্বের ভ্রামক মোচড়ের ভ্রামক ও মোচড়ের কোণ সমানুপাতিক হয়। মোচড়ের দরুণ ভ্রামক $= C\theta$ ($C =$ ১ radian মোচড়ের দরুণ ভ্রামকের মান।)

$$\therefore \quad C\theta = nHAi. \quad \text{কিম্বা } i = \frac{C}{nAH}\theta. = K\theta\,;\ K = \frac{C}{nAH}$$

এইরূপ গ্যাল্‌ভ্যানোমিটারে $i \propto \theta$ অর্থাৎ প্রবাহ মাত্রা ও বিক্ষেপ সমানুপাতিক হয়।

৪১। ষ্ট্রীং গ্যাল্‌ভ্যানোমিটার (String Galvanometer; Einthoven) : একটি এক সেঃ মিঃ দৈর্ঘ্যের তারের ভিতর দিয়া যদি i (C.G.S.) তড়িৎ প্রবাহিত হয় এবং উহা যদি H চুম্বক ক্ষেত্রে বলরেখার সহিত লম্বভাবে অবস্থিত হয় তবে ঐ তারে Hi তড়িচ্চুম্বকীয় বলের উদ্ভব ঘটে-এ বিষয় আগেই দেখিয়াছি। Einthoven গ্যাল্‌ভ্যানোমিটারে এই নীতি প্রযুক্ত হইয়া থাকে। ছবিতে দেখা যাইতেছে AB একটি খুব সূক্ষ্ম প্লাটিনাম

তার N-S তড়িৎ চুম্বকের বলরেখার সহিত লম্বভাবে অবস্থিত। N ও S মেরুর মধ্যে একটি গর্ত আছে। একটি গর্তের ভিতর একটি অনুবীক্ষণ রাখা আছে। আর একটি গর্তের ভিতর দিয়া আলোক প্রবেশ করিতে দেওয়া হয়। সরু প্লাটিনাম তারের উপর টান কম-বেশী করা চলিতে পারে। ফ্লেমিংয়ের বামহস্ত নিয়মের অনুযায়ী তড়িৎ প্রবাহ ঘটিলে তারটি বিক্ষিপ্ত হইবে। এই বিক্ষেপ দ্বারা সূক্ষ্ম তড়িৎ প্রবাহের উপস্থিতি ধরা যায়। এক ampere এর ১০০ কোটি ভাগের এক ভাগ তড়িৎ প্রবাহও মাপিবার মত বিক্ষেপ হইয়া থাকে। এই যন্ত্রটি খুবই সুবেদী যন্ত্র। ইহার দ্বারা হৃৎপিণ্ডের স্পন্দনের সময় যে তড়িৎ প্রবাহ ঘটে তাহা মাপা চলে। ১৯১৪ সালের মহাযুদ্ধে এই যন্ত্রের সাহায্যে শত্রুর কামানের অবস্থান নির্ণীত হইয়াছিল (শব্দবিদ্যা দেখ)।



৭৯ নং চিত্র গ্যাল্‌ভ্যানোমিটার

৪১। গ্যাল্‌ভ্যানোমিটারের সুবেদীত্ব (Sensitivity : সুবেদীত্ব দুই প্রকারের, যথা (*i*) প্রবাহ সুবেদীত্ব (current sensivity). গ্যাল্‌ভ্যানোমিটার হইতে ১ মিটার দূরের মিলি মিটার স্কেলে এক আম্পিয়ারের দশ লক্ষ ভাগের এক ভাগ ($১০^{-৬}$ অ্যাঃ) তড়িৎ প্রবাহের জন্য আলোক শিখার যত মিলি মিটার বিক্ষেপ হইবে উহাই প্রবাহ সুবেদীত্বের পরিমাপ। (এখানে বিক্ষেপ আলোক শিখা ও স্কেলের সাহায্যে মাপা হয়।)

[অনেক ক্ষেত্রে যে তড়িৎ এক মিটার দূরের স্কেলে পতিত আলোক রশ্মিকে এক মিলি মিটার বিক্ষেপ করে তাহাকে যন্ত্রের Sensivity বলে (Sensitivity নয়)।

(ii) **বিভব সুবেদীত্ব** (Voltage Sensitivity) : যদি গ্যাল্‌ভ্যানো-মিটার হইতে এক মিটার দূরে স্কেল রাখা হয় তবে এক ভোল্টের দশ লক্ষ ভাগের এক ভাগ ($১০^{-৬}$ ভোল্ট) বিভবের দরুণ যত মিলি মিটার বিক্ষেপ হইবে উহাই বিভব সুবেদীত্বের পরিমাণ।

সাধারণতঃ গ্যাল্‌ভ্যানোমিটারকে প্রবাহ সম্বন্ধে সুবেদী হইতে হইলে উহাতে অনেক পাকের কুণ্ডলী থাকা দরকার, সেইজন্য গ্যাল্‌ভ্যানোমিটারের রোধ (resistance) বেশী হইয়া থাকে, কিন্তু বিভব সম্বন্ধে সুবেদী গ্যাল্‌ভ্যানো-মিটারের বেলায় ইহার রোধ সাধারণতঃ কম হইয়া থাকে।

৪২। গ্যাল্‌ভ্যানোমিটারের তুলনা।

প্রলম্বিত চুম্বক	প্রলম্বিত কুণ্ডলী
(১) পৃথিবীর চৌম্বক ক্ষেত্রের দরুণ দ্বন্দ দৃষ্ট হয়। এই দ্বন্দ্বের ভ্রামক খুব বড় নয়, সেইজন্য আশেপাশে অন্য চুম্বক আনিলে গ্যাল্‌ভ্যানোমিটারের চুম্বকের বিক্ষেপ পরিবর্তিত হয়।	(১) চুম্বকের মেরুদ্বয়ের মধ্যে চৌম্বক ক্ষেত্র খুবই প্রবল হয়। সেইজন্য পৃথিবীর চুম্বক ক্ষেত্রের কিংবা অন্য কাছে চুম্বক আনিলে, কুণ্ডলীর বিক্ষেপের পরিবর্তন হয় না।
(২) এই যন্ত্রের কুণ্ডলীকে সর্ব-প্রথম পৃথিবীর চুম্বকীয় মধ্যরেখায় রাখিতে হয়।	(২) এই যন্ত্র যে কোন অভিমুখে বসান চলিতে পারে, কারণ পৃথিবীর চুম্বকীয় প্রভাব ইহার উপর নাই চল্‌লেই চলে।
(৩) প্রলম্বিত চুম্বক একবার দুলিতে আরম্ভ করিলে স্থির অবস্থায় আসিতে অনেক সময় লয়। অনেক ক্ষেত্রে চুম্বকের উপর উলঙ্গ অভ্রের পাত লাগান হয়। যাতে বায়ুর রোধের ফলে চুম্বক শীঘ্র থামিয়া যাইতে পারে।	(৩) এই গ্যালভ্যানোমিটারের বিক্ষেপ তড়িৎ প্রবাহ বন্ধ করলেই বন্ধ হয় এবং কুণ্ডলীটি পূর্বাবস্থায় ফিরিয়া আসে। ইহাকে (Dead-beat) বলা হয়। হালকা ধাতুর কাঠামো যখন চুম্বক ক্ষেত্রের মধ্যে আবর্তন করে তখন হইতে তড়িতপ্রবাহ আবিষ্ট (Induved) হইয়া থাকে এবং ইহার প্রতিক্রিয়ায় প্রলম্বিত কুণ্ডলী নিজ অবস্থানে ফিরিয়া আসে।

(৪) $১০^{-৫}$ অ্যাম্পিয়ারের কম প্রবাহ মাপা যায় না।	(৪) $১০^{-৫}$ অ্যাম্পিয়ারের কম প্রবাহ মাপা যায়।
(৫) $\frac{H}{G}$ পৃথিবীর বিভিন্ন স্থানে বিভিন্ন হয়।	(৫) $\frac{H}{G}$ পৃথিবীর সর্ব্বত্রএক।

প্রশ্ন

1. What is meant by an astatic system of two needles? What is its usefulness? Explain the princip'e of the astatic galvanometer.

(C.U., 1221 ; Bom. 1931 ; Pat. 1928 ; All. 1929)

2. Describe the construction and action of a simple galvanometer. (C.U. 1929)

3. Describe and explain the action of a simple form of tangent galvanometer.

(C.U., 1913, '22, '24, '31, '39 ; Dac. '32, '34 ; Pat. '18, '22, '46)

Why must the needle be very small?

(Pat. 1941 ; All. '29 ; C.U., '40)

4. Define unit current and establish the working formula of a tangent galvanometer. What modifications would you require to be introduced in a tangent galvanometer in order to convert it into a sine galvanometer? Which of the two will be more suitable for measuring (*a*) heavy currents, and (*b*) feeble currents? (Pat. 1925, '30 ; Cf C.U., '31, '44)

Compare the merits and demerits of these two types of galvanometers. (Pat. 1930)

5. What is a tangent galvanometer and why is it so called? Show how the apparatus is used to obtain the absolute value of an electric current. (Pat. 1932 : Cf. All. '29.)

6. Describe a suspended coil type of galvanometer and explain its action. (C.U., 1932 : All. '12, '32 ; Dac. 1931)

What are the special merits of this type ? (All. 1932)

7. Describe a simple form of tangent galvanometer. Why must the coil be placed with its plane in the magnetic meridian ?

A current is sent through two tangent galvs. in series. The deflection is seen to be the same in both galvs

Compare the radii of the coils, if the number of turns is 110 in the first coil and 25 in the second. (C U., 1947)

8. What is meant by tne 'Reduction Factor' of a tangent galvanometer. (C.U , 1941 ; All. 1944)

Explain what is meant by (*a*) tho galvanometer constant, (*b*) the reduction factor. (Pat. 1946)

9. Calculate the strength of the magnetic field at the centre of a coil of a single turn and of 34 cms. radius, if this gives a deflection of 45° with a current of 8 amperes. (Pat. 1918)

10. Describe a tangont galvanometer, and explain how you would use it to measure an electric current. Deduce the necessary formula. (All. 1946)

How will the deflection be affected if (*a*) tne pole strength of the magnet is increased, (*b*) the galvanometer is carried from Patna to London, the current passed through the galvanometer in each case being the same ? (Pat. 1944)

11. Describe the tangent galvanometer. When a battery of 10 ohms resistance is connected in series with a galvalometer of 100 turns and of 40 ohms resistance, the deflection is 45°. What would be the deflection if only 50 tur ns of the galvanometer were connected in series with the battery. (C.U., 1939)

রোধ (Resistance)

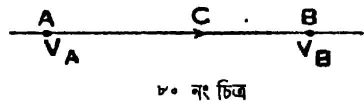
৪৪। **রোধ :** যদি দুই বিন্দু A ও Bর মধ্যে বিভব ভেদ থাকে তবে A ও B বিন্দুকে কোন পরিবাহী দ্বারা যুক্ত করিলে পরিবাহীতে তড়িৎ প্রবাহ সংঘটিত হয়। পরিবাহীর ইলেকট্রোনের চলাচলেই তড়িৎ প্রবাহের উৎপত্তি হয় (৮০ নং চিত্র)। তড়িৎ প্রবাহের সময় পরিবাহীর উপাদান ইলেকট্রোনের গতিকে কমবেশী বাধা দেয়। পরিবাহীর উপাদানের যে ধর্মের দ্বারা পরিবাহী ইলেকট্রোনের গতিতে এই বাধা সৃষ্টি করে তাহাকে **রোধ** বলে। সুপরিবাহীর রোধ খুব কম যথা ধাতু, অন্তরকের রোধ খুব বেশী যথা রেশম।

৪৫। **ওহম সূত্র** (Ohm's Law) **:** জর্জ সাইমন ওহম ১৮২৭ খৃষ্টাব্দে নিজের প্রস্তুত যন্ত্রের সাহায্যে প্রবাহ-মাত্রা (current strength), রোধ ও বিভব-ভেদের মধ্যে সম্বন্ধ নির্ণয় করেন। ইহাকে ওহম সূত্র বলে। দুর্ভাগ্য বশতঃ ওহমের পরীক্ষার ফল প্রথমে তাঁহার দেশের বৈজ্ঞানিকগণ বিশ্বাস করেন না কিন্তু ১৮৩৩ খৃষ্টাব্দে এই সূত্র সর্বত্র সমাদৃত হয়।

ওহম সূত্র : সমান উষ্ণতায় কোন বর্তনীর যে কোন অংশের প্রবাহ-মাত্রা ঐ অংশের দুই প্রান্তস্থ বিভব-ভেদের সহিত সমানুপাতিক হয়।

একটি নলের ভিতর জল পাম্প করিলে নিষ্কাশিত জলের আয়তন পাম্পের শক্তির সমানুপাতে ও ঘর্ষণের ব্যস্তানুপাতে পরিবর্তিত হয়। পরিবাহীর রোধ ঘর্ষণের সঙ্গে এবং বিভব-ভেদ পাম্পের যান্ত্রিক শক্তির সহিত তুলনীয়। বিভব-ভেদ হইল তড়িচ্চাপ। এই চাপেতেই তড়িৎ প্রবাহিত হয়।

মনে কর AB পরিবাহীর ভিতর দিয়া প্রবাহিত তড়িতের প্রবাহ-মাত্রা $=i$ হইতেছে। মনে কর A বিন্দুতে বিভব $=V_A$, B বিন্দুতে বিভব $=V_B$ এবং $V_A>V_B$. A ও B বিন্দুর মধ্যে বিভব-ভেদ $=V_A-V_B$ $\therefore$ $V_A-V_B \propto i$.



৮০ নং চিত্র

$\therefore \frac{V_A - V_B}{i} = R =$ ধ্রুবক। ওহম বিভব-ভেদের ও প্রবাহ-মাত্রার এই অনুপাতকে **রোধ** আখ্যা দেন।

$$\frac{V_A - V_A}{i} = R \quad \therefore \quad i = \frac{V_A - V_B}{R}$$

$\therefore$ প্রবাহ-মাত্রা (অ্যাম্পিয়ার) $= \frac{\text{বিভব-ভেদ (ভোল্ট)}}{\text{রোধ (ওহম)}}$।

অতএব ওহম সূত্রকে এইভাবে লেখা যায়: কোন পরিবাহীর প্রবাহ-মাত্রা বিভব ভেদের সহিত সমানুপাতিক এবং রোধের সহিত ব্যস্তানুপাতিক হয়। রোধের বিপরীত রাশিকে $\left(\frac{1}{R}\right)$ **পরিবাহিতা** (Conductance) বলে। যে পরিবাহীর রোধ বেশী তার পরিবাহিতা কম।

৪৬। **রোধের পরিবর্তন:** কোনও পরিবাহীর রোধ নিম্নলিখিত বিষয়ের উপর নির্ভর করে: পরিবাহীর (i) দৈর্ঘ্য, (ii) প্রস্থচ্ছেদ, (iii) উপাদান, (iv) আলো, (v) চৌম্বক ক্ষেত্র, (vi) ভৌত অবস্থা যথা উষ্ণতা, চাপ।

৪৭। **রোধের নিয়ম** (Laws of Resistance): (১) **দৈর্ঘ্যের নিয়ম:** একই প্রস্থচ্ছেদের ও একই উপাদানের তারের রোধ উহার দৈর্ঘ্যের সহিত সমানুপাতিক হয়। একই উপাদানের একই প্রস্থচ্ছেদের লম্বা তার অপেক্ষা ছোট তারের রোধ বেশী হয়। $R \propto l$ যখন $S =$ ধ্রুবক হয়। এখানে $l =$ তারের দৈর্ঘ্য, $R =$ তারের রোধ, $S =$ প্রস্থচ্ছেদ। তারের দৈর্ঘ্য দ্বিগুণ করিলে রোধও দ্বিগুণ হয়।

(২) **প্রস্থচ্ছেদের নিয়ম:** একই নির্দিষ্ট উপাদানের ও একই দৈর্ঘ্য বিশিষ্ট তারের রোধ প্রস্থচ্ছেদের ব্যস্তানুপাতে পরিবর্তিত হয়। $R \propto \frac{l}{S}$ যখন $l =$ ধ্রুবক হয়।

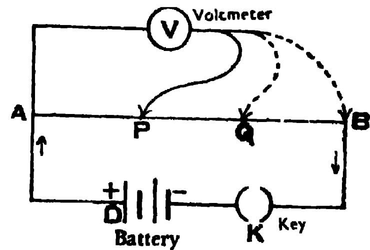
অতএব $R \propto \frac{l}{S}$ যখন S ও l পরিবর্তিত হয়, $R = \delta \frac{l}{S}$

δ কোনও নির্দিষ্ট উপাদানের তারে ধ্রুবক হয়; ইহাকে উপাদানের **রোধাঙ্ক** (Specific Resistance) বলা হয়।

(৩) সাধারণতঃ ধাতব তারের রোধ ও উষ্ণতা সমানুপাতিক হয়। যত উষ্ণতা বাড়ে রোধ তত বাড়ে। কিন্তু অধাতব পদার্থের রোধ উষ্ণতার বৃদ্ধির সঙ্গে কমিয়া যায়।

দ্রষ্টব্য: (ক) স্থির-বিদ্যুতে একই আধান প্রাপ্ত সমান আকৃতির লোহা ও তামার বল একইরূপ আচরণ করে কিন্তু চল-বিদ্যুতে একই দৈর্ঘ্যের ও প্রস্থচ্ছেদের লোহা ও তামার মধ্য দিয়া একই পরিমাণ তড়িৎ প্রবাহিত হয় না। ইহাতে প্রমাণ হয় যে রোধ তারের উপাদানের উপর নির্ভর করে। (খ) কোন তারের রোধ উহার ব্যাসের উপর নির্ভর করে, পরিধির উপর নহে। সুতরাং একই বহির্ব্যাসের ফাঁপা তার ও নিরেট তার সমান তড়িৎ পরিবহন করিবে না।

৪৮। রোধের নিয়মের সত্যতা পরীক্ষা: (ক) **দৈর্ঘ্যের নিয়ম:** সমান প্রস্থচ্ছেদের (uniform) দীর্ঘ তার ABকে K চাবির মধ্য দিয়া D ব্যাটারির সঙ্গে যোগ কর। একটি বিভব-ভেদ মাপক বা ভোল্টমিটার (Voltmeter) Vর একটি প্রান্ত তারের A প্রান্তে স্থায়ীভাবে যোগ কর। V ভোল্টমিটারের অপর প্রান্ত AB তারে পর পর P, Q ···বিন্দুতে রাখ এবং প্রত্যেক ক্ষেত্রে স্থির বিন্দু A

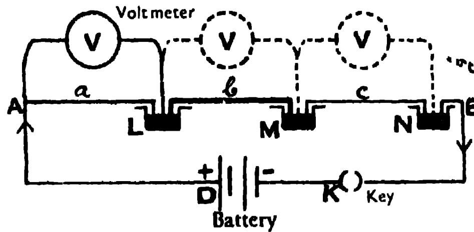


৮১ নং চিত্র—দৈর্ঘ্যের নিয়মের সত্যতা পরীক্ষা

হইতে P, Q, প্রভৃতি বিন্দুর দূরত্ব l মাপ এবং ভোল্টমিটারের বিক্ষেপ মাপ। পরীক্ষায় দেখা যায় $\theta \propto l$. আমরা জানি $V_A - V_P \propto \theta$. $\therefore V_A - V_P$ (বিভব-ভেদ) $\propto l$. যেহেতু একই তড়িৎ সমস্ত তারের মধ্য দিয়া প্রবাহিত হয়·

∴ ওহম সূত্রানুসারে $V_A - V_P = R$. A ও P বিন্দুর মধ্যে রোধ$=R$.
∴ $R \propto l$. .... (ক)

(খ) প্রস্থচ্ছেদের নিয়ম : একই দৈর্ঘ্যের ও উপাদানের কিন্তু বিভিন্ন প্রস্থচ্ছেদের তিনটি তার a, b, cকে তিনটি পারদের বাটি L, M ও Nএর মধ্য দিয়া ও K চাবির মধ্য দিয়া D ব্যাটারির সঙ্গে শ্রেণীতে (পরে দেখ) যোগ কর। একই তড়িৎ তিনটি তারের মধ্য দিয়া প্রবাহিত করাও। পর পর এক একটি তারের প্রান্তদ্বয়V ভোল্টমিটারের সঙ্গে যোগ কর। মনে কর প্রত্যেক দুই তারের দুই প্রান্তে বিভব$=V_A$ ও V_B। এখানে ভোল্টমিটারের বিক্ষেপ $\theta=$



৮২ নং চিত্র—প্রস্থচ্ছেদের নিয়মের সত্যতা পরীক্ষা

বিভব ভেদ $V_A - V_B$। স্ক্রু-গেজ দিয়া প্রত্যেক তারের প্রস্থচ্ছেদ S মাপ। দেখ

$V_A - V_B \propto \frac{1}{S}$, এখানে i ধ্রুবক ; ∴ $V_A - V_B \propto R$ $\quad R = \frac{1}{S}$

৪৯। **রোধাঙ্ক :** $R = \delta \frac{l}{S}$। এই সমীকরণে যদি $l=$১ সেঃ মিঃ, $S=$১ বঃ সেঃ মিঃ হয় তবে $\delta = R$ হইবে।

সুতরাং যদি একটি ১ সেঃ মিঃ দৈর্ঘ্যের ঘনক (cube) লওয়া হয় এবং এই ঘনকের একমুখে তড়িৎ প্রবেশ করে এবং বিপরীত মুখে বাহির হয় তাহা হইলে এই ঘনকের রোধ ঘনকের উপাদানের রোধাঙ্কের সমান। "তামার রোধাঙ্ক $১\cdot৬ \times ১০^{-৬}$ ওহম" বলিলে জানা যায় যে তামার এক সেন্টিমিটার ঘনকের (one centimetre cube) ভিতর দিয়া তড়িৎ প্রবাহের গমনে $১\cdot৬ \times ১০^{-৬}$ ওহম বাধা সৃষ্ট হয়।

রোধাঙ্ক উষ্ণতার উপর নির্ভর করে। রোধাঙ্কের বিপরীত রাশিকে তড়িত পরিবাহিতা (Electrical Conductivity) বলে।

উপাদান	রোধাঙ্ক
পরিবাহী (Conductor) :—	(২০°C উষ্ণতায়)
রূপা (Silver)	১·৬২ × ১০⁻⁶ ওহম-সেঃ মিঃ
তামা (Copper)	১·৭১ × ১০⁻⁶ ,, ,,
এ্যালুমিনিয়ম (Aluminium)	২·৮২ × ১০⁻⁶ ,, ,,
লোহা (Iron)	৯·৮ × ১০⁻⁶ ,, ,,
প্লাটিনাম (Platinum)	১০·৮ × ১০⁻⁶ ,, ,,
পারদ (Mercury)	৯৫·৪ × ১০⁻⁶ ,, ,,
অন্তরক (Insulator)	
গন্ধক (Sulphur)	(প্রায়) ১০¹² ,, ,,
অ্যাম্বার (Amber)	,, ১০¹⁴ ,, ,,
কাচ (Glass)	,, ১০¹¹ ,, ,,

কোন ধাতুর প্রস্তুত প্রণালীর উপর ইহার রোধাঙ্ক নির্ভর করে। রূপা সর্বাপেক্ষা সুপরিবাহী। ইহার রোধাঙ্ক সর্বাপেক্ষা কম। লোহার রোধাঙ্ক কোমলায়ন (annealing) পদ্ধতির উপর নির্ভর করে। যে সকল পদার্থ তাপের সুপরিবাহী সেই সকল পদার্থ তড়িতের সুপরিবাহী। কোনও কোষের আভ্যন্তরীণ রোধ (internal resistance) দুইটি পাতের মধ্যে দূরত্ব ও দ্রবণের ভিতরে পাতের নিমজ্জিত অংশের ক্ষেত্রফলের উপর নির্ভরশীল। গ্রাহী কোষের (accumulator) ভিতরের রোধ খুবই কম হইয়া থাকে।

৫০। **বিভিন্ন একক : অ্যাম্পিয়ার, কুলম্ব, ভোল্ট, ওহম :** তড়িৎ-সম্বন্ধীয় ব্যাপারে দুই প্রকার একক ব্যবহৃত হয়; একটিকে **ব্যবহারিক** (Practical) একক বলা হয় আর অপরটির নাম **C.G.S** একক বা **পরম** (Absolute) একক, কিম্বা **তড়িৎচুম্বকীয়** (Electro-magnetic Unit, E.M.U) **একক**। শেষোক্ত এককগুলি C.G.S. প্রণালীতে তড়িৎ-

প্রবাহ-জনিত কাজ, শক্তি, ক্ষমতা ইত্যাদি মাপিবার জন্য ব্যবহৃত হইয়া থাকে।

(ক) **ব্যবহারিক একক :**

প্রবাহ-মাত্রার একক (Unit of Current Strength) : বর্তনীর যে কোন অংশে এক সেকেণ্ডে প্রবাহিত তড়িতের পরিমাণকে প্রবাহ-মাত্রা বলে। যদি i=প্রবাহ-মাত্রা হয়, Q=t সেকেণ্ডে প্রবাহিত মোট তড়িৎ হয় তবে $i=\frac{Q}{t}$। প্রবাহ-মাত্রার ব্যবহারিক একককে **অ্যাম্পিয়ার** বলে। যে প্রবাহ $AgNO_3$ দ্রবণের ভিতর দিয়া অতিক্রম করিলে রূপার ক্যাথোডের উপর এক সেকেণ্ড ০.০০১১১৮ গ্রাম রূপা বিন্যস্ত করে তাহাকে **অ্যাম্পিয়ার** বলে।

পরিমাণের একক (Unit of Quantity) : পরিমাণের একককে **কুলম্ব** বলে। কোন পরিবাহীর ভিতর দিয়া এক অ্যাম্পিয়ার প্রবাহ এক সেকেণ্ড প্রবাহিত হইলে যে পরিমাণ তড়িৎ অতিক্রম করে তাহাকে **কুলম্ব** বলে। Q=i.t। যদি i=১, t=১ হয় তবে Q=১ হইবে। ∴ ১ কুলম্ব=১ অ্যাম্পিয়ার × ১ সেকেণ্ড।

বিভব-ভেদের (P.D.) বা **তড়িচ্চালক বলের একক** (Unit of Electromotive force. E. M. F. তঃ চাঃ বল) :

ইহাদের ব্যবহারিক একককে **ভোল্ট** বলে। ২০°C উষ্ণতায় প্রমাণ Cadmium কোষের তড়িচ্চালক বলের $\frac{১}{১.০১৮৩}$ অংশ এক ভোল্টের সমান।

অন্য উপায় :—ওহম সূত্রানুযায়ী $i=\frac{E}{R}$ ∴ E=i.R.

এখানে যদি R=১, i=১ হয় তবে E=১ হইবে। অর্থাৎ যদি কোন পরিবাহীর রোধ এক ওহমের সমান হয় আর যদি ইহার ভিতর দিয়া এক অ্যাম্পিয়ার তড়িৎ প্রবাহিত হয় তবে ঐ পরিবাহীর উভয় প্রান্তের মধ্যে ১ ভোল্ট বিভব-ভেদ ঘটে। ১ ভোল্ট=১ অ্যাম্পিয়ার × ১ ওহম।

রোধের একক : রোধের একককে **ওহম** বলে। কোনও পরিবাহীর দুই

প্রান্তে এক ভোল্ট বিভব-ভেদ থাকিলে যদি উহার ভিতর এক অ্যাম্পিয়ার তড়িৎ প্রবাহ চলে তাহা হইলে উহার রোধ এক ওহমের সমান হয়।

$$১ \text{ ওহম} = \frac{১ \text{ ভোল্ট}}{১ \text{ অ্যাম্পিয়ার}} ।$$

কার্য্যতঃ 0°C উষ্ণতায় একটি সম প্রস্থচ্ছেদ ও ১০৬·৩ সেঃ মিঃ দৈর্ঘ্য ও ১৪·৪৫২১ গ্রাম ভর বিশিষ্ট পারদ স্তম্ভের রোধকে এক ওহম ধরা হয়।

(খ) চরম একক :

প্রবাহ-মাত্রার একক : প্রবাহ-মাত্রার একক আগেই পেয়েছি। এক সেঃ মিঃ পরিধির এক সেঃ মিঃ ব্যাসার্ধের বৃত্তের চাপের ভিতর দিয়া তড়িৎ প্রবাহিত হইলে যদি ঐ চাপের কেন্দ্রে একক উত্তর মেরুর উপর এক ডাইন বলের উদ্ভব ঘটে তবে প্রবাহকে এক C.G.S. একক বলে। ১ C. G. S. প্রবাহ-মাত্রা = ১০ অ্যাম্পিয়ার।

$১ \text{ E. M. U} = ৩ \times ১০^{১০} \text{ E. S. U}$; ∴ $১ \text{ অ্যাঃ} = ৩ \times ১০^{৯} \text{ E S U}$.

পরিমাণের একক : এক সেকেণ্ডে এক একক C. G. S. প্রবাহ-মাত্রা যতটা তড়িৎ পরিবহন করে ততটাকে পরিমাণের C. G. S. একক বলে। ১ C. G. S. প্রবাহ × ১ সেঃ = ১ C. G. S. পরিমাণ = ১০ কুলম্ব।

$$\therefore ১ \text{ কুলম্ব} = \frac{১}{১০} \text{ C. G. S. একক}; \quad ১ \text{ E.M.U.} = ৩ \times ১০^{১০} \text{ E.S.U.}$$

$$\therefore ১ \text{ কুলম্ব} = ৩ \times ১০^{৯} \text{ E. S. U.}$$

$$\text{ইলেক্‌ট্রোন} = ৪·৭৭ \times ১০^{-১০} \text{ E.S.U.} = (৪·৭৭ \times ১০^{-১০}) \div (৩ \times ১০^{১০})$$
$$= ১·৫৯ \times ১০^{-২০} \text{ E. M. U.} = ১·৫৯ \times ১০^{-১৯} \text{ কুলম্ব।}$$

বিভব-ভেদের একক : একটি পরিবাহীর দুইটি বিন্দুর মধ্যে এক C.G.S. (বা E. M. U) মাত্রার তড়িৎ প্রবাহিত হইলে যদি এক আর্গ কাজ উৎপন্ন হয় তবে ঐ দুইটি বিন্দুর মধ্যে বিভব-ভেদ এক C. G. S. হয়।

∴ $১ \text{ ভোল্ট} = ১০^{৮}$ C. G. S. (E. M. U.) বিভব-ভেদ অর্থাৎ এক

C, G. S. প্রবাহ ১ ভোল্ট বিভব-ভেদের মধ্য দিয়া প্রবাহিত হইলে $১০^{৮}$ আর্গ কার্য সম্পাদিত হয়।

$$৩ \times ১০^{১০} \text{ E. M. U. বিভব-ভেদ} = ১ \text{ E. S. U. বিভব-ভেদ}$$

$$\therefore \quad ১ \text{ ভোল্ট} = \frac{১}{৩০০} \text{ E. S. U.}$$

রোধের একক: কোন পরিবাহীর দুই প্রান্তে এক C. G. S. বিভব-ভেদ থাকিলে এবং উহার মধ্য দিয়া এক C. G. S. প্রবাহ অতিক্রম করিলে পরিবাহীর রোধকে একক C. G S. রোধ বলে।

$$\therefore \quad \frac{১ \text{ C. G. S. বিভব-ভেদ}}{১ \text{ C. G. S. তড়িৎ প্রবাহ}} = ১ \text{ C. G. S. রোধ।}$$

$$\therefore \quad ১ \text{ ওহম} = ১০^{৯} \text{ C. G. S. একক}$$

দ্রষ্টব্য: (ক) মনে রাখিবে তড়িতের প্রবাহের (flow) হারকে অর্থাৎ ১ সেকেণ্ডে প্রবাহিত তড়িতের পরিমাণকে **প্রবাহ-মাত্রা** বলে। তড়িতের গতির বাধাকে **রোধ** বলে। রোধ প্রবাহকে নিয়ন্ত্রিত করে। তড়িতের প্রবাহ সৃষ্টিকারী বলকে **তড়িচ্চালক বল** বলে।

(খ) কোন তড়িৎ বর্তনীর যে কোন অংশে প্রবাহ-মাত্রা একই থাকে কিন্তু যে অভিমুখে তড়িৎ প্রবাহিত হয় সেই অভিমুখে ক্রমশঃ বিভব-ভেদ কমিয়া যায়।

(গ) ক্ষুদ্র প্রবাহ-মাত্রা, ক্ষুদ্র বিভব-ভেদ, ক্ষুদ্র রোধ যথাক্রমে মিলি-অ্যাম্পিয়ারে ও মাক্রো-অ্যাম্পিয়ারে, মিলি ভোল্টে ও মাক্রো ভোল্টে এবং মাক্রো ওহমে মাপা হয়।

$$\text{মিলি} = \frac{১}{১০^{৩}}, \text{ মাক্রো} = \frac{১}{১০^{৬}}$$

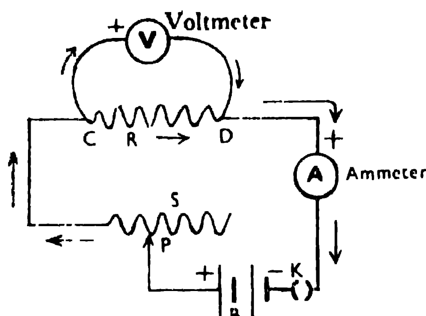
খুব উচ্চ রোধ মেঘা ওহমে (Megha Ohm) মাপা হয়। ১ মেঘা ওহম $= ১০^{৬}$ ওহম।

৫১। **স্থির ও চল তড়িতের প্রকৃতির ঐক্য :** (ক) লিডেন জারের দুই আবরণ যদি **চিমটা** দিয়া যুক্ত হয় কিংবা Wimhurst যন্ত্রের দুইটি বর্তুলকে **তার** দিয়া যোগ করা যায় তবে তড়িৎ স্ফুলিঙ্গের মধ্য দিয়া না যাইয়া তারের মধ্য দিয়া প্রবাহিত হয়। ব্যাটারির দুই প্রান্ত তার দিয়া যোগ করিলে এইরূপ তড়িৎ প্রবাহিত হয়। সুতরাং দুই প্রকারে উৎপন্ন তড়িতের প্রকৃতির মধ্যে বিশেষ পার্থক্য নাই; পার্থক্য কেবল মাত্রায়। স্থির-তড়িতের যথা লিডেন জারে মোক্ষণের বেলায় প্রবাহটা ক্ষণিকের জন্য হয়, বিভব-ভেদ খুব উচ্চ হয় এবং তড়িতের পরিমাণ সামান্য থাকে কিন্তু ব্যাটারির তড়িতের বেলায় প্রবাহ নিরবচ্ছিন্ন হয়, বিভব-ভেদ সামান্য হয় এবং তড়িতের পরিমাণ বেশী থাকে। স্থির-তড়িতে উৎপন্ন প্রবাহ পার্বত্য জলস্রোতের মত এবং ব্যাটারিতে উৎপন্ন প্রবাহ নদীর স্রোতের মত। পার্বত্য জলস্রোতে জল কম থাকে কিন্তু তলের পার্থক্য খুব বেশী হয়। নদীর স্রোতে জল বেশী থাকে কিন্তু তলের পার্থক্য কম হয়। লেকল্যান্স কোষে বিভব ভেদ = ১.৫ ভোল্ট কিন্তু কাচদণ্ডে রেশম ঘষিলে কয়েক সহস্র ভোল্ট বিভব-ভেদ উৎপন্ন হয়। এক সেন্টিমিটার দূরত্বে দুইটি এক সেন্টিমিটার ব্যাসবিশিষ্ট ধাতব বলের মধ্যে স্ফুলিঙ্গ উৎপন্ন করিতে ২৮০০০ ভোল্ট বিভব-ভেদ দরকার। আধুনিক মত অনুসারে দুই প্রকার ক্ষেত্রেই **নিম্ন বিভব হইতে উচ্চ বিভবে ইলেকট্রোনের গতিকে প্রবাহ** বলে। একটি কুণ্ডলীতে ব্যাটারি হইতে তড়িৎ প্রবাহিত করিলে কিংবা লিডেন জারের স্ফুলিঙ্গ অতিক্রম করাইলে কাচা লোহা চুম্বকিত হয়। লিডেন জারের স্ফুলিঙ্গ হইতে আলো ও উত্তাপ পাওয়া যায়। ব্যাটারির প্রবাহ হইতেও আলো ও উত্তাপ দুইই পাওয়া যায়। এই সকল ঘটনা দুই তড়িতের প্রকৃতির ঐক্য প্রমাণ করে।

৫২। **ওহম সূত্রের সত্যতা নিরূপণ** (Verification of Ohm's Law):

(১) **ভোল্টমিটার পদ্ধতি : যন্ত্র :** B ব্যাটারির +মেরুর সহিত পরিবর্তনীয় রোধ S যোগ কর। তীরচিহ্নিত স্পর্শক P'কে S তারের বিভিন্ন স্থানে রাখিয়া Sএর রোধ পরিবর্তন করা যায়। একটি রিওষ্টেট (rheostat) ব্যবহার করিলে এই উদ্দেশ্য সাধিত হয়। S রোধটি একই শ্রেণীতে

(in series) নির্দিষ্ট মানের R রোধের, A অ্যাম্মিটারের ও K চাবির মধ্য দিয়া ব্যাটারির—মেরুর সহিত সংযুক্ত আছে। R রোধের মাত্রা $\frac{1}{50}$ ওহমের কাছাকাছি হইলে এবং ভোল্টমিটারের আভ্যন্তরীণ রোধ (internal resistance) কয়েক হাজার ওহম হইলে ভাল হয়। C ও D বিন্দুর সঙ্গে সুবেদী V ভোল্টমিটার সমান্তরালে (in parallel) যোগ কর। ভোল্টমিটার R রোধের দুই প্রান্তের বিভব-ভেদ মাপ করে।



৮৩ নং চিত্র—ওহম নিয়মের সত্যতা নিরূপণ।

A অ্যাম্মিটার তড়িতের প্রবাহ-মাত্রা মাপ করে। মনে কর Sএর কোন নির্দিষ্ট মানের জন্য C ও D বিন্দুর মধ্যে বিভব-ভেদ $(V_C - V_D)$।

পরীক্ষা: (ক) প্রথমে Sএর রোধ সর্বাপেক্ষা বেশী কর। মনে কর ভোল্টমিটারের পাঠ $= V_1$ ভোল্ট $(= V_C - V_D)$ এবং অ্যাম্মিটারের পাঠ $= i_1$; i_1 প্রবাহ Rএর মধ্য দিয়া ওযায়। Pকে বামদিকে সরাইয়া Sএর রোধের পরিবর্তন কর। মনে কর এক্ষেত্রে ভোল্টমিটারের পাঠ $= V_2$ ও অ্যাম্মিটারের পাঠ $= i_2$ এইরূপে বিভিন্ন পরীক্ষা করিলে দেখা যায় যতক্ষণ তারের উষ্ণতা এক থাকে ততক্ষণ

$$\frac{V_1}{i_1} = \frac{V_2}{i_2} = R \text{ (ধ্রুবক)}$$

∴ তড়িৎ প্রবাহ-মাত্রা ∝ বিভব-ভেদ

(খ) R পরিবর্তন না করিয়া ব্যাটারির পর পর একটি, দুইটি, তিনটি কোষ বর্তনীতে আনিয়া iকে পরিবর্তন কর। প্রত্যেক ক্ষেত্রে দেখা যায়।

$$\frac{V_1}{i_1} = \text{ধ্রুবক } R.$$

দ্রষ্টব্য: (ক) তারের দৈর্ঘ্য, প্রস্থচ্ছেদ ও উপাদান পরিবর্তিত করিলে R পরিবর্তিত হয়।

(২) Tan **গ্যাল্‌ভ্যানোমিটার পদ্ধতি:** একটি নিত্য E. M. F. বিশিষ্ট গ্রাহী-কোষ, একটি Tan গ্যাল্‌ভ্যানোমিটার, রোধ-বাক্স (resistance box, পরে দেখ) তামার তার দিয়া শ্রেণীতে যোগ করিয়া বর্তনী সম্পূর্ণ কর। মনে কর R রোধের জন্য গ্যাল্‌ভ্যানোমিটারের বিক্ষেপ $=\theta^{\circ}$ হয়, গ্যাল্‌ভ্যানোমিটারের রোধ $=$ G ওহম হয় এবং কোষের আভ্যন্তরীণ রোধ $=$ r ওহম হয়।

$\therefore$ প্রবাহ-মাত্রা $i=\dfrac{E}{R+G+r}=K.\tan\theta^{\circ}$ (অ্যাম্পিয়ার)···(ক)

এবার Rকে পরিবর্তিত করিয়া R_1 কর। মনে কর এবার গ্যাল্‌ভ্যানোমিটারের বিক্ষেপ $=\theta_1$ এবং প্রবাহ-মাত্রা $=i_1$

$\therefore$ $i_1=\dfrac{E}{R_1+G+r}=10K\tan\theta^{\circ}_1$ (অ্যাঃ) ··· (খ)

গণনায় দেখা যায় $10K.\tan\theta^{\circ}\times(R+G+r)$ এবং $10K\tan\theta^{\circ}_1\times(R_1+G+r)$ প্রত্যেকে Eএর সমান হয়।

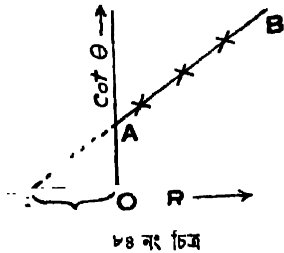
$\therefore$ ওহম সূত্র প্রমাণিত হয়।

(৩) **ছক পদ্ধতি** (Graphical Method) **:** ওহম সূত্র সত্য ধরিলে পূর্বেকার মত গণনায় $(R+G+r)\times 10\tan\theta^{\circ}=E$.

$\therefore$ $\dfrac{R+G+r}{\cot\theta}=\dfrac{E}{10K}=$ ধ্রুবক $=m$ (মনে কর)

$\therefore$ $R=m\cot\theta+n$, এখানে $n=-(G+r)$

এই সমীকরণ $y=mx+h$ এই ধরণের। সুতরাং এই সমীকরণের ছক সরল রেখা হওয়া উচিৎ।



৮৪ নং চিত্র

কার্যতঃ R ও cot θকে যথাক্রমে কোটি ও ভুজ ধরিয়া ছক আঁকিলে ছক সরল রেখা হয়।

সুতরাং ওহম সূত্রের সত্যতা প্রমাণিত হয়।

৫৩। **ওহম সূত্রের প্রয়োগ** (Application of Ohm's law): ওহম সূত্র সম্পূর্ণ তড়িৎ বর্তনীতে কিংবা বর্তনীর যে কোন অংশে প্রযোজ্য :

(ক) **আংশিক বর্তনী (E. M. F. এর উৎস বাদ দিয়া)**: কোন বর্তনীর মধ্য দিয়া তড়িৎ প্রবাহিত হইলে বর্তনীর যে কোন দুইটি বিন্দু A ও B এর মধ্যে ওহমের সূত্রানুযায়ী রোধ, প্রবাহ-মাত্রা ও বিভেদ-ভেদের সম্পর্কে পাওয়া যায় : $i = \frac{V_A - V_B}{R}$

R = A ও B বিন্দুর মধ্যের রোধ, $V_A - V_B$ = বিভব-ভেদ, i = প্রবাহ-মাত্রা

অতএব $i.R = V_A - V_B$, কথায়, কোনও দুইটি বিন্দুর মধ্যে বিভব-ভেদ, সেই দুইটি বিন্দুর মধ্যে রোধের ও দুই বিন্দুর মধ্যে প্রবাহ-মাত্রায় গুণফলের সমান।

(খ) **সম্পূর্ণ বর্তনী (E. M. F. এর উৎস লইয়া**: (i) মনে কর কোন কোষের E. M. F. = E ভোল্ট,

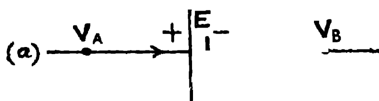
যদি এই কোষের ভিতরের রোধ = r ওহম, কোষের + ও —মেরু সংযোজক তারের রোধ = R ওহম, E র দরুণ প্রবাহ-মাত্রা = i অ্যাম্পিয়ার হয় তবে $i = \frac{E}{R+r}$

কিন্তু $i.R = V_A - V_B$ = তারের দুই প্রান্তস্থ বিভব-ভেদ

$$\therefore \quad E = V_A - V_B + ir.$$

এখানে তঃ চাঃ বল বিভব-ভেদ অপেক্ষা i.r বেশী।

(গ) **E. M. F. এর উৎস সমেত আংশিক বর্তনী**: যখন A ও B বিন্দুর মধ্যের বিভব-ভেদ ছাড়াও E তড়িচ্চালক বল বর্তনীতে যুক্ত হয় তখন দুইটি বিষয় হইতে পারে : মনে কর অতিরিক্ত তড়িচ্চালক বল A ও B এর মধ্যের বিভব-ভেদের বিপরীত দিকে ক্রিয়া করে।





৮৫ নং চিত্র

$$\therefore \quad i=\frac{(V_A-V_B)-E}{R+r}.$$

(২) অতিরিক্ত তড়িচ্চালক বল বিভব-ভেদের একই দিকে ক্রিয়া করে,

$$\therefore \quad i=\frac{(V_A-V_B)+E}{R+r}$$

৫৪। তড়িচ্চালক বল (E. M. F) ও **বিভব-ভেদ** (P. D): মোট তড়িচ্চালক বল E কোষের বাহিরে ও ভিতরে তড়িৎ চালনা করে, অতএব তড়িৎ R ও r দুইটি রোধের ভিতর দিয়া চালিত হইয়া থাকে; সেইজন্য $i=\frac{E}{R+r}=\frac{\text{বর্তনীর তড়িচ্চালক বল}}{\text{বর্তনীর মোট রোধ}}$

$\therefore$ $E=i.R+i.r$; $iR=V_A-V_B$ = কোষের সংহত বর্তনীর দুই মেরুর মধ্যে বিভব-ভেদ। ইহাকে প্রান্তীয় বিভব-ভেদ (terminal P. D) বলে বা আপ্য (available) ভোল্ট বলে।

$\therefore$ যখন কোষের ভিতর দিয়া তড়িৎ প্রবাহিত হয় তখন কোষের মোট তড়িচ্চালক বল E = বহির্বর্তনীর বিভব-ভেদ (i.R) + অন্তর্বর্তনীর বিভব-ভেদ (ir)। তড়িৎ প্রবাহের সকল সময় $E>ir$.

$\therefore$ কোষের তড়িচ্চালক বল E = সংহত বর্তনীর বিভব-ভেদ। i.r কোষের ভিতরে তড়িৎ প্রবাহের জন্য বিভব-ভেদ। ইহাকে কোষের আভ্যন্তরীণ বিভব-ভেদ (internal P. D) বলা হয়। যদি কোনও কোষের আভ্যন্তরীণ রোধ r=0 হয় তাহলে সে ক্ষেত্রে ঐ কোষের বিভব-ভেদ সকল সময়েই তড়িচ্চালক বলের সমান হয়। গ্রাহী কোষের (accumulator) r খুব কম হইয়া থাকে। যদি E_1 = খণ্ডিত বর্তনীর তড়িচ্চালক বল হয়, E_2 = সংহত বর্তনীর তড়িচ্চালক বল হয় তবে E_1-E_2 তড়িচ্চালক বল কোষের তরলের মধ্য দিয়া তড়িৎকে চালনা করিবে। ইহা কোষের বাহিরে তড়িচ্চালনায় কোন কাজে লাগে না। ইহাকে **নষ্ট ভোল্ট** (Lost Volt) বলে।

$\therefore$ আভ্যন্তরীণ রোধ = $\frac{\text{নষ্ট ভোল্ট}}{\text{প্রবাহমাত্রা}}$

∴ মোট তড়িচ্চালক বল=আপ্য ভোল্ট+নষ্ট ভোল্ট।

৫৫। তড়িচ্চালক বল ও বিভব-ভেদের তুলনা: তড়িচ্চালক বল যান্ত্রিক বলের ন্যায় তড়িৎকে ঠেলিয়া দেয়। ইহা একটি যান্ত্রিক গতি উৎপন্নকারী (motive) বল। ইহা রাসায়নিক ক্রিয়া হইতে উদ্ভূত হয়। প্রত্যেক কোষে এই বলের অভিমুখ নির্দিষ্ট। ওহম সূত্রানুযায়ী $E=iR+i.r$; সুতরাং সংহত বর্তনীতে কোষের তঃ চাঃ বল বহিরোধ R ও অন্তরোধ r এর মধ্য দিয়া তড়িৎ পরিচালনা করে। সুতরাং বর্তনীর দুই অংশের রোধ অনুযায়ী তঃ চাঃ বল দুই অংশে ভাগ হইয়া যায়। তঃ চাঃ বলের প্রত্যেক অংশকে বর্তনীর দুই বিন্দুর মধ্যে বিভব-ভেদ বলে। প্রবাহের অভিমুখে বিভব কমিতে থাকে। সুতরাং বিভব-ভেদ প্রবাহের অভিমুখের উপর নির্ভর করে। এখানে তঃ চাঃ বল কারণ, বিভব-ভেদ ফল।

যেহেতু $i.R=E-i.r.$ সুতরাং খণ্ডিত বর্তনীতে কোষের দুই মেরুর মধ্যে বিভব-ভেদ=কোষের তড়িচ্চালক বল। বর্তনীকে খণ্ডিত করিলেও তড়িচ্চালক বল বর্তমান থাকে। ইহা রোধের উপর নির্ভর করে না কিন্তু বিভব-ভেদ রোধের উপর নির্ভর করে।

৫৬। সংযোজক তারে বিভব-ভেদের ক্রমিক হ্রাস: (Voltage drop in a line): কোন কোষের আভ্যন্তরীণ রোধের মধ্য দিয়া তড়িৎ পাঠাইতে কিছু বেশী ভোল্ট বিভব-ভেদের দরকার হয় সুতরাং আপ্য বিভব-ভেদ কোষের তড়িচ্চালক বলের চেয়ে কম হয়। বিদ্যুৎ উৎপাদক কারখানা (power house) হইতে যতই লাইনের দূরত্ব বাড়ে ততই বিভব-ভেদ কমিয়া যায়। বিভব-ভেদের হ্রাস$=i\times R$ (R=লাইনের রোধ)।

অঙ্ক 1. If an incandescent lamp of 80 ohms resistance takes a current 0·75 amp. what E. M. F is required to work it? (C. U. 1943).

ওহম সূত্রানুসারে $i=\frac{E}{R}$ বা $E=i.R=\cdot৭৫\times৮০=৬০$ ভোল্ট।

2. The poles of a Daniell cell of E. M. F=1·08

volts and internal resistance 0·2 ohm are joined by a wire having a resistance of 5·2 ohms. Find the strength of the current. (C. U. 1928).

$$i=\frac{E}{R+r}=\frac{১\cdot০৮}{৫\cdot২+০\cdot২}=\cdot২$$ অ্যাম্পিয়ার।

3. A Daniell cell is connected up in series with a tangent galvanometer of 1 ohm resistance and a box of resistance coils. When a resistance of 2 ohms is taken out of the box the deflection of the galvanometer is 60°; and when the resistance in the box is increased to 20 ohms the deflection falls to 30°. Find the resistance of the cell. (C. U. 19.2).

সমস্ত রোধ শ্রেণীতে সংযুক্ত থাকে সুতরাং প্রথম অবস্থায় মোট রোধ $=(২+১+r)$ ওহম। (r=কোষের আভ্যন্তরীণ রোধ।)

$\therefore$ প্রবাহ মাত্রা $i=\frac{E}{৩+r}$; E=কোষের তঃ চাঃ বল।

দ্বিতীয় অবস্থায় মোট রোধ=$(২০+১+r)$ ওহম সুতরাং প্রবাহ $i_১=\frac{E}{২১+r}$

$$\therefore \frac{i}{i_১}=\frac{২১+r}{৩+r}\ \dots(ক)$$

আমরা জানি $i=K\tan ৬০^\circ$; $i_১=K\tan ৩০^\circ$.

(K=গ্যাল্‌ভ্যানোমিটারের লঘুগুণক) $\frac{i}{i_১}=\frac{K\tan ৬০^\circ}{K\tan ৩০^\circ}=\frac{\sqrt{৩}}{\frac{১}{\sqrt{৩}}}=৩$;

(ক) হইতে $\frac{২১+r}{৩+r}=৩$

$\therefore$ $২১+r=৯+৩r$ বা $২r=১২$; $r=৬$ ওহম।

4. Two cells, a resistance of 2·5 ohms and an ammeter of negligible resistance are all connected in series and

the ammeter reads 0·8 amp. If the stronger cell has an E. M. F of 1·8 volts and an internal resistance of 0·5 ohms, find the E. M. F and the internal resistance of the other cell. (Pat. 1942).

মনে কর [illegible] কোষের E. M. F = E এবং আভ্যন্তরীণ রোধ = r.

১ নং ঘটনা : ফলদায়ক E. M. F = ১·৮ + E. বর্তনীর মোট রোধ = ২·৫ + ·৫ + r = ৩ + r

ওহ্‌ম সূত্রানুসারে $\cdot ৮ = \frac{১\cdot ৮ + E}{৩ + r}$ বা $E - \cdot ৮r = \cdot ৬$ .... (১)

২ নং ঘটনা : ফলদায়ক E.M.F = ১·৮ − E এবং মোট রোধ = ৩ + r

$\therefore \cdot ১ = \frac{১\cdot ৮ - E}{৩ + r}$ $E + \cdot ১r = ১\cdot ৫$ .... (২)

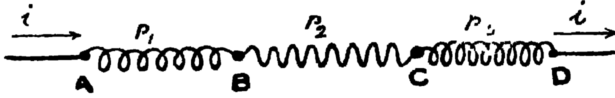
(১) ও (২) হইতে r = ১ ওহ্‌ম ∴ e + ·১ × ১ = ১·৫ বা e = ১·৫ — ·১ = ১·৪ ভোঃ

৫৭। তুল্যাঙ্ক রোধ (Equivalent Resistance) : যদি কোন তড়িৎ বর্তনীতে দুই বিন্দুর মধ্যে অবস্থিত দুই বা ততোধিক রোধের পরিবর্তে একটি এমন মাত্রার রোধ স্থাপন করা হয় যে বর্তনীর ঐ দুই বিন্দুর মধ্যস্থিত মোট-প্রবাহ মাত্রা বা বিভব-ভেদ অপরিবর্তিত থাকে তবে শেষোক্ত একক রোধকে পূর্বোক্ত রোধগুলির **তুল্যাঙ্ক রোধ** বলে।

৫৮। রোধ সমবায় : বিভিন্ন কার্য্যের জন্য বর্তনীতে কতকগুলি রোধকে একত্রে ব্যবহার করা দরকার হয়। ইহা তিন প্রকারে করা যায় :— (ক) **শ্রেণী** (in series) **সমবায়**; (খ) **সমান্তরাল** (in parallel বা divided circuit বা multiple arc **সমবায়**; (গ) **মিশ্রিত** (mixed) **সমবায়**।

(ক) **শ্রেণী সমবায় :** যখন কতকগুলি রোধ ($r_1, r_2, r_3 \cdots$) পর পর একটির প্রান্ত হইতে অপরটির প্রান্তে (end to end) এমন ভাবে যোগ করা যায় একই প্রবাহ i সকল রোধের মধ্য দিয়া চলে তবে এই সমবায়কে

শ্রেণী সমবায় বলে। স্পষ্টতঃ দেখা যায় যে এই সমবায়ে মোট পরিবাহী তারের দৈর্ঘ্য বৃদ্ধি পায় সুতরাং কার্য্যকরী রোধও বৃদ্ধি পায়।



৮৬ নং চিত্র—শ্রেণী রোধ সমবায

তুল্যাঙ্ক রোধ গণনা : মনে কর r_1, r_2, r_3 রোধ বিশিষ্ট তিনটি তার পর পর শ্রেণীবদ্ধভাবে যুক্ত হইয়াছে।

মনে কর A, B, C ও D প্রান্তে যথাক্রমে বিভব V_A, V_B, V_C, V_D এবং i প্রবাহ সকলের মধ্য দিয়া A হইতে D এর দিকে প্রবাহিত হইতেছে।

ওহম সূত্রানুসারে $V_A - V_B = ir_1$

$$V_B - V_C = ir_2$$

$$V_C - V_D = ir_3$$

যোগ করিয়া, $V_A - V_D = i\,(r_1 + r_2 + r_3)$ .... (ক)

মনে কর A ও D বিন্দুর মধ্যে r_1, r_2, r_3 রোধের তুল্যাঙ্ক রোধ $= R$.

∴ সংগানুসারে $V_A - V_D = R.i.$ (বিভব-ভেদ = রোধ × প্রবাহ মাত্রা)

(ক) হইতে $R = r_1 + r_2 + r_3$

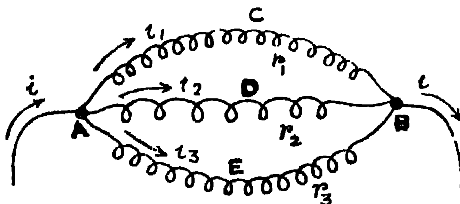
অনেকগুলি রোধের শ্রেণীসমবায়ের বেলায় $R = r_1 + r_2 + r_3 + \cdots\cdots$

অতএব যখন অনেকগুলি রোধ শ্রেণীতে সংযুক্ত হয় তখন **তুল্যাঙ্ক রোধ = পৃথক রোধগুলির যোগফল**। এই সমবায়ে কার্যকরী রোধ বাড়িয়া যায়।

(খ) সমান্তরাল রোধ সমবায় :

যখন প্রত্যেক রোধের (r_1, r_2, r_3) একপ্রান্ত সাধারণ বিন্দু Aতে এবং অপর প্রান্ত সাধারণ বিন্দু Bতে সংযুক্ত হয় তখন A বিন্দুতে মূল প্রবাহ বিভিন্ন রোধের মধ্যে বিভক্ত হইয়া পুনরায় B বিন্দুতে যুক্ত হয়। সমবায়কে শ্রেণী এইরূপ রোধের সমবায় বলে।

তুল্যাঙ্ক গণনা : মনে কর A ও B বিন্দুর মধ্যে r_1, r_2, r_3 রোধ-বিশিষ্ট প্রত্যেক তার C, D, E শ্রেণীতে যুক্ত হয়। মনে কর i প্রবাহ Aতে



৮৭ চিত্র—সমান্তরাল রোধ সমবায়

পৌঁছাইয়া তিনটি অংশে i_1, i_2, i_3তে বিভক্ত হইয়া যথাক্রমে r_1, r_2, r_3 তারের মধ্য দিয়া প্রবাহিত হইয়া পুনরায় Bতে যুক্ত হয়।

$\therefore \quad i=i_1+i_2+i_3 \cdots\cdots$ (ক)

মনে কর A ও Bতে বিভব $=V_A$ ও V_B.

ওহম সূত্রানুসারে $i_1=\frac{V_A-V_B}{r_1}$, $i_2=\frac{V_A-V_B}{r_2}$, $i_3=\frac{V_A-V_B}{r_3}$

মনে কর R = তুল্যাঙ্ক রোধ $\therefore \quad i=\frac{V_A-V_B}{R}$

(ক) হইতে $\frac{V_A-V_B}{R}=\frac{V_A-V_B}{r_1}+\frac{V_A-V_B}{r_2}+\frac{V_A-V_B}{r_3}$

দুই দিক V_A-V_B দ্বারা ভাগ দিয়া, $\therefore \quad \frac{1}{R}=\frac{1}{r_1}+\frac{1}{r_2}+\frac{1}{r_3}$

অনেকগুলি রোধের সমান্তরাল সমবায়ের বেলায়

$$\frac{1}{R}=\frac{1}{r_1}+\frac{1}{r_2}+\frac{1}{r_3}+\cdots\cdots$$

অতএব **তুল্যাঙ্ক রোধের বিপরীত (reciprocal) রাশি=প্রত্যেক রোধের বিপরীত রাশির যোগফল।**

$\frac{1}{R}>\frac{1}{r_1}$ বা $\frac{1}{r_2}$ বা $\frac{1}{r_3}$ $\therefore$ r_1, r_2 বা r_3র যে কোন একটির

রোধ অপেক্ষা R ক্ষুদ্রতর। কোন পরিবাহীর রোধের বিপরীত $\frac{1}{R}$ রাশিকে পরিবাহিতা বলে। সুতরাং সূত্রটি এইরূপ বলা যায় :—যখন কয়েকটি পরিবাহী শ্রেণীতে যুক্ত হয় তখন তুল্যাঙ্ক পরিবাহিতা = পৃথক পরিবাহিতার যোগফল।

৫৯। **দুইটি সমান্তরাল রোধের নিয়ম :** বহু তড়িৎ মাপে দুইটি সমান্তরাল রোধ ব্যবহৃত হয়। ইহাদের পৃথক বিবেচনা করা দরকার। মনে কর r_1 ও r_2 রোধবিশিষ্ট দুইটি তারের তুল্যাঙ্ক রোধ = R. ইহারা সমান্তরালে যুক্ত আছে।

$$\therefore \frac{1}{R} = \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} = \frac{r_1 + r_2}{r_1 r_2} \qquad \therefore \quad R = \frac{r_1 r_2}{r_1 + r_2} \quad \cdots (ক)$$

৮৭ নং চিত্র হইতে $V_A - V_B = i_1 r_1 = i_2 r_2 = i_3 r_3 = iR.$

$$\therefore \quad \frac{i_1}{i_2} = \frac{r_2}{r_1} \quad \cdots (খ) \text{ or } \quad i_1 = i \frac{R}{r_1}$$

দুই শাখায় প্রবাহমাত্রা ও রোধ ব্যস্তানুপাতিক হয় অর্থাৎ যে শাখায় কম রোধ থাকে সেই শাখায় বেশী প্রবাহ চলে।

$$\text{আবার } i_1 = i \times \frac{R}{r_1} = \frac{i}{r_1} \times \frac{r_1 r_2}{r_1 + r_2} = i \frac{r_2}{r_1 + r_2} \,.$$

$$\text{এইরূপে} \quad i_2 = i \cdot \frac{r_1}{r_1 + r_2} \;;$$

উদাহরণ : ১০০ ওহম ও ১ ওহম রোধের শ্রেণী সমবায়ের ফল :—
১০০Ω + ১Ω = ১০১Ω (Ω = ওহম চিহ্ন)

∴ সম্মিলিত রোধ > ১০০Ω $\qquad \frac{১}{R} = \frac{১}{১০০} + \frac{১}{১} = \frac{১০১}{১০০}$

∴ $R = \frac{১০০}{১০১} =$ ·৯৯Ω $\qquad$ ∴ সম্মিলিত রোধ < ১Ω

দ্রষ্টব্য : (ক) মনে রাখিবে শ্রেণী সমবায়ে বিভব-ভেদ (P. D) রোধ অনুযায়ী বিভিন্ন পরিবাহীতে ভাগ হইয়া যায় কিন্তু একই প্রবাহ প্রত্যেক পরিবাহীর মধ্য দিয়া অতিক্রম করে। সমান্তরাল সমবায়ে

সকল পরিবাহীর একই বিভব-ভেদ থাকে কিন্তু প্রবাহ প্রত্যেক পরিবাহীতে পরিবাহিতা অনুসারে ভাগ হইয়া যায়। (খ) মনে রাখিবে "সমান্তরাল রোধ"এর অর্থ ইহা নয় যে রোধের তারগুলি সমান্তরালে থাকিবে।

৬০। **বর্তনীতে প্রবাহ নিয়ন্ত্রণ** (Current Control in Circuit) : কোন বর্তনীতে শ্রেণী বা সমান্তরালে একটি রোধ বা সমবায় রোধ রাখিয়া প্রবাহ নিয়ন্ত্রণ করা যায়।

(ক) **শ্রেণী রোধ নিয়ন্ত্রণ : নির্দিষ্ট বিভব-ভেদ** হইতে কোন নির্দিষ্ট মানের প্রবাহ পাইতে হইলে বর্তনীতে উপযুক্ত **শ্রেণী** রোধ রাখিতে হয়।

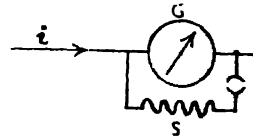
(খ) **সমান্তরাল রোধ নিয়ন্ত্রণ :** নির্দিষ্ট রোধ ও **নির্দিষ্ট প্রবাহ** বিশিষ্ট বর্তনীর প্রবাহ হইতে নির্দিষ্ট ভগ্নাংশ প্রবাহ পাইতে হইলে **সমান্তরালে** উপযুক্ত রোধ রাখিতে হয়। **সাণ্টে** সমান্তরাল রোধ নিয়ন্ত্রণ ব্যবহার করা হয়। (৬৩নং অনুচ্ছেদ)

৬১। **সমান্তরাল বর্তনীর নিয়ম** (Laws for Parallel Circuits) : (ক) সমান্তরাল রোধ সমবায়ে প্রত্যেক বর্তনীব ভোল্ট সমান হয়। (খ) বিভিন্ন শাখার প্রবাহের যোগফল = মোট প্রবাহ। (গ) মোট রোধ = $\frac{\text{ভোল্ট}}{\text{মোট প্রবাহ}}$

বৈদ্যুতিক আলোগুলি কোন বর্তনীতে সমান্তরালে যোগ করা হয়। ইহার সুবিধা এই যে একটি আলো নিভাইলে সব আলো নিভিয়া যায় না। অর্থাৎ একটি আলোক বর্তনী হইতে বিচ্ছিন্ন করিলে (disconnect) অন্যগুলিতে প্রবাহের কোন পরিবর্তন হয় না। কারণ প্রত্যেক আলোতে প্রবাহ $i = \frac{V}{r}$ (V = মেনে (main) বিভব-ভেদ, r = আলোর রোধ। কতকগুলি একই প্রকারের আলো বিশিষ্ট বোর্ড রোধরূপে ব্যবহৃত হয়।

৬২। তড়িচ্চালক বল ও কোষের আভ্যন্তরীণ রোধঃ কোন কোষের তড়িচ্চালক বল কোষে ব্যবহৃত ধাতব পাতের প্রকৃতি ও তড়িৎ উত্তেজক তরলের প্রকৃতি ও উষ্ণতার উপর নির্ভর করে কিন্তু কোষের পাতের ক্ষেত্রফল বা উহাদের মধ্যে দূরত্বের উপর নির্ভর করে না। একই তরল ও ধাতব পাতের বড় কোষে ও ছোট কোষের তড়িচ্চালক বল একই হয় কিন্তু বড কোষে আভ্যন্তরীণ রোধ* কম হয় কারণ আভ্যন্তরীণ রোধ নিম্নলিখিত বিষয়ের উপর নির্ভর করে : (ক) পাতের তরলের নিমজ্জিত অংশের ক্ষেত্রফল, (খ) দুই পাতের মধ্যে দূরত্ব, (গ) তড়িৎবিশ্লেষের (electrolyte) মাত্রা। সুতরাং কোষে দুই পাত কাছে থাকুক বা দূরে থাকুক তড়িচ্চালক বল একই থাকে কিন্তু পাত কাছে থাকিলে আভ্যন্তরীণ রোধ কম হয় এবং প্রবাহ বেশী হয়। গ্রাহী কোষে পাত খুব বড় হয় এবং উহারা কাছাকাছি থাকে সুতরাং গ্রাহী কোষের আভ্যন্তরীণ রোধ খুব কম।

৬৩। **বিকল্প-পথ বা সাণ্ট** (Shunt) : গ্যাল্‌ভ্যানোমিটার সুবেদী হইলে তাহার মধ্য দিয়া তীব্র প্রবাহ পাঠান যুক্তিসঙ্গত নয় কারণ গ্যাল্‌ভ্যানোমিটারের বিক্ষেপ খুব বেশী হইলে কুণ্ডলী বা বিলম্ব-তার নষ্ট হইয়া যাইতে পারে। সেইজন্য তীব্র প্রবাহের সামান্য ভগ্নাংশ গ্যাল্‌ভ্যানোমিটারের মধ্য দিয়া পাঠান হয়। গ্যাল্‌ভ্যানোমিটারের কুণ্ডলীর প্রান্ত-বন্ধনীর সহিত একটি সুবিধাজনক রোধ বিশিষ্ট তার যোগ করিয়া মূল তীব্র প্রবাহের সামান্য ভগ্নাংশ গ্যালভ্যানো-মিটারের মধ্য দিয়া পাঠান হয়। এই রোধ বিশিষ্ট অতিরিক্ত তারকে **বিকল্প পথ** বা **সাণ্ট** বলে। সাণ্ট দুই সমান্তরাল রোধের (৫৯ অনুচ্ছেদ) দৃষ্টান্ত। চিত্রে G গ্যাল্‌ভ্যানোমিটার, S সাণ্ট, K চাবি আছে। K চাবি বন্ধ করিলে সমস্ত প্রবাহ সাণ্টের মধ্য দিয়া যায়।



৮৮ নং চিত্র—সাণ্ট

* কোষের ভিতরে দুই পাতের মধ্যে তরলের মধ্য দিয়া রোধকে **আভ্যন্তরীণ রোধ** এবং দুই মেরু সংযোজক বাহিরের তারের রোধকে **বহির্রোধ** রোধ বলে।

গণনা: মনে কর গ্যাল্‌ভ্যানোমিটারের রোধ $=g$, সান্টের রোধ $=s$, মূল প্রবাহ $=i$, গ্যাল্‌ভ্যানোমিটারের মধ্য দিয়া প্রবাহ $=i_g$, সান্টের মধ্য দিয়া প্রবাহ $=i_s$, মোট প্রবাহ $i=i_g+i_s$.

৫৯ অনুচ্ছেদের (খ) সমীকরণ অনুসারে $\frac{i_s}{i_g}=\frac{g}{s}$,

দুইধারে ১ যোগ করিয়া $\frac{i_s+i_g}{i_g}=\frac{g+s}{s}$ ... (ক)

$\therefore \quad i_g=\frac{s}{g+s}(i_s+i_g)=\frac{s}{g+s}.i$ ..(খ); সেইরূপ $i_s=\frac{g}{g+s}.i$

(খ) হইতে, $\frac{i_g}{i}=\frac{s}{g+s}$ অর্থাৎ

$$\frac{\text{গ্যাল্‌ভ্যানোমিটারের মধ্য দিয়া প্রবাহ}}{\text{মোট প্রবাহ}}=\frac{\text{সান্টের রোধ}}{\text{সান্টের রোধ}+\text{গ্যাল্‌ভ্যানোমিটারের রোধ}}$$

(ক) হইতে $\frac{i_g+i_s}{i_g}=\frac{g+s}{s}$ or $\frac{i}{i_g}=\frac{g+s}{s}$.

$\frac{g+s}{s}$ কে গ্যাল্‌ভ্যানোমিটার প্রবাহ i_g দিয়া গুণ করিলে মূল প্রবাহ i পাওয়া যায়। এই গুণনকে **সান্টের গুণক** (Reduction Factor of Shunt) বলে।

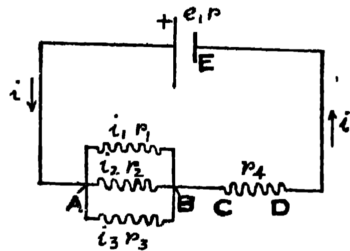
দৃষ্টান্ত: যদি মূল প্রবাহের $\frac{১}{n}$ অংশ গ্যাল্‌ভ্যানোমিটারের মধ্য দিয়া পাঠাইতে হয় তবে $\frac{i_g}{i}=\frac{১}{n}=\frac{s}{g+s}$ হয় $\therefore \quad s=\frac{১}{n-১}g$.

(ক) মনে কর মূল প্রবাহের $\frac{১}{১০}$ অংশ গ্যাল্‌ভ্যানোমিটারের মধ্য দিয়া পাঠান দরকার। $\therefore \quad i_g=\frac{১}{১০}\times i=\frac{s}{s+g}.i$

$\therefore \quad ১০s=g+s \quad \therefore \quad ৯s=g. \quad \therefore \quad s=\frac{g}{৯}$

(খ) বর্তনীতে যদি প্রচুর তড়িৎ প্রবাহিত হয় তবে **সান্টযুক্ত** গ্যাল্‌ভ্যানো-মিটার (Shunted Galvanometer) বর্তনীতে নিরাপদে রাখা যায়। অংশাঙ্কিত গ্যাল্‌ভ্যানোমিটারে স্কেল সংযুক্ত করিয়া কাঁটার পঠন দেখিয়া প্রবাহ মাপা যায়। এইরূপ অংশাঙ্কিত গ্যাল্‌ভ্যানোমিটারকে **প্রবাহ-মাপক** বা **অ্যাম্মিটার** বলে।

৬৪। কোন বর্তনীর ভিন্ন ভিন্ন অংশে বিভব-ভেদ ও প্রবাহ নির্ণয় :



৯৯ নং চিত্র—বর্তনীর বিভব-ভেদ ও প্রবাহ নির্ণয়

মনে কর E কোষের তড়িচ্চালক বল=e ভোল্ট, আভ্যন্তরীণ রোধ=r ওহম। এই E কোষের সাহায্যে একটি সংহত বর্তনী EABCD প্রস্তুত করা হইয়াছে। A ও B বিন্দুর মধ্যে r_1, r_2, r_3 তিনটি রোধ সমান্তরালে যোগ করা হইয়াছে। C ও Dর বিন্দুর মধ্যে r_4 রোধ আছে। মূল প্রবাহ i অ্যাঃ তিনটি রোধে ভাগ হইয়া যায় যথা r_1 এর মধ্য দিয়া i_1, r_2 এর মধ্য দিয়া i_2, r_3র মধ্য দিয়া r_3 প্রবাহ যায় ;

$$\therefore\quad i=i_1+i_2+i_3.$$

মনে কর r_1, r_2, r_3এর তুল্যাঙ্ক-রোধ=R

$$\therefore\quad \frac{1}{R}=\frac{1}{r_1}+\frac{1}{r_2}+\frac{1}{r_3}\qquad \therefore\quad \frac{1}{R}=\frac{r_2r_3+r_1r_3+r_1r_2}{r_1r_2r_3}$$

$$\therefore\quad R=\frac{r_1r_2r_3}{r_2r_3+r_1r_3+r_1r_2}$$

মূল প্রবাহ $i=\dfrac{e}{r+R+r_4}=\dfrac{e}{r+r_4+\dfrac{r_1r_2r_3}{r_1r_2+r_1r_3+r_2r_3}}$

$$=\frac{e(r_1r_2+r_1r_3+r_2r_3)}{r_1r_2r_3+(r+r_4)(r_1r_2+r_1r_3+r_2r_3)}$$

A ও Bর মধ্যে বিভব-ভেদ যদি $V_A - V_B$ হয় তাহা হইলে

$$V_A - V_B = i.R = \frac{e(r_1r_2 + r_1r_3 + r_2r_3)}{(r+r_4)(r_1r_2+r_1r_3+r_2r_3)+r_1r_2r_3}$$

$$\times \frac{r_1r_2r_3}{r_1r_2+r_2r_3+r_1r_3} = \frac{e\, r_1r_2r_3}{(r+r_4)(r_1r_2+r_1r_3+r_2r_3)+r_1r_2r_3}$$

এখন $V_A - V_B = i_1r_1 = i_2r_2 = i_3r_3$

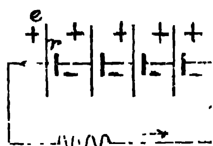
অতএব $i_1 = \dfrac{e\, r_2r_3}{r_1r_2r_3+(r+r_4)(r_1r_2+r_1r_3+r_2r_3)}$

এইরূপ i_2, i_3 বাহির করা যায়।

আর, C ও D বিন্দুর মধ্যে বিভব-ভেদ $= i \times r_4$.

৬৫। কোষের সমবায়ঃ একটি মাত্র কোষের তড়িচ্চালক বল কম থাকে এবং ইহার কিছু আভ্যন্তরীণ রোধও থাকে। সুতরাং একটি মাত্র কোষ উচ্চ রোধের মধ্য দিয়া বেশী তড়িৎ পাঠাইতে পারে না। কার্যতঃ প্রবাহ বা তড়িচ্চালক বল বাড়াইবার জন্য কয়েকটি একই রকমের কোষ একত্রে যুক্ত করিয়া বর্তনীতে রাখা হয়। কোষের এইরূপ সমবায়কে **ব্যাটারি** বলে। এইরূপ সমবায় তিন প্রকারে গঠিত হয়।

(ক) **শ্রেণী সমবায়** (in series)**:** যখন কোষগুলি পর পর এইরূপভাবে সংযুক্ত হয় যে একটির +মেরু (উচ্চ বিভব যুক্ত পাত) পরবর্তি — মেরুর (নিম্ন বিভব যুক্ত পাতের) সঙ্গে যুক্ত হয় তখন সমবায়কে **শ্রেণী সমবায়** বলে। সংহৃত বর্তনীতে প্রত্যেক কোষের মধ্য দিয়া একই প্রবাহ চলে। প্রথম কোষের নিম্ন বিভব পাত শেষ কোষের উচ্চ বিভব পাত ব্যাটারির + ও — মেরুর পাত গঠন করে।



৯০ নং চিত্র—শ্রেণী কোষ সমবায়

গণনাঃ মনে কর n সংখ্যক একই রকমের কোষ শ্রেণীতে সংযুক্ত

হইয়াছে। প্রত্যেকের আভ্যন্তরীণ রোধ $=r$ ওহম, তঃ চাঃ বল $=e$ ভোল্ট। মনে কর ব্যাটারির দুই পাতের মধ্যে বহিরোধ R ওহম এবং বর্তনীতে প্রবাহ $=i$ অ্যাম্পিয়ার।

(১) **শ্রেণী সমবায়ের মোট তঃ চাঃ বল :** মনে কর প্রথম কোষের দস্তা ও তামার পাতের বিভব V_1 ও V_2। $\therefore$ প্রথম কোষের বিভব-ভেদ $= V_2 - V_1 = e$। যখন প্রথম কোষের তামা দ্বিতীয় কোষের দস্তার সহিত যুক্ত হয় তখন দ্বিতীয় কোষের দস্তার বিভবও V_2তে বাড়িয়া যায় কারণ ইহারা তার দিয়া যুক্ত থাকে। কিন্তু দ্বিতীয় কোষের দস্তা ও তামার একই বিভব-ভেদ থাকে সুতরাং দ্বিতীয় কোষের তামার বিভব $= V_2 + (V_2 - V_1) = 2V_2 - V_1$ সুতরাং প্রথম কোষের দস্তা ও দ্বিতীয় কোষের তামার মধ্যে বিভব-ভেদ $= (2V_2 - V_1) - V_1 = 2(V_2 - V_1) = 2e.$

এইরূপে দেখান যায় প্রথম কোষের দস্তা ও nth কোষের তামার মধ্যে বিভব-ভেদ $= ne.$

(২) **শ্রেণী সমবায়ের মোট রোধ :** আভ্যন্তরীণ রোধ $=nr$ ওহম কারণ রোধগুলি সমান্তরালে সংযুক্ত আছে। (৫৮ অনুচ্ছেদ) বহিরোধ $=R$ ওহম ; মোট রোধ $=R+nr$ ওহম।

(৩) **শ্রেণী সমবায়ের মোট প্রবাহ :** ওহম সূত্রানুসারে $i=\frac{ne}{R+nr}$; এখন তিনটি বিষয় বিবেচনা করা দরকার।

(i) Rএর তুলনায় যখন r খুব বেশী হয় তখন Rকে বাদ দেওয়া যায়। তখন $i=\frac{ne}{nr}=\frac{e}{r}$ অর্থাৎ সমবায়ের প্রবাহ একটি কোষের প্রবাহের সমান হয়। সুতরাং ব্যাটারির কোন উপকারিতা থাকে না

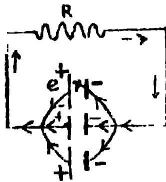
(ii) Rএর তুলনায় যখন r খুব কম হয় তখন $i=\frac{ne}{R\left(1+\frac{nr}{R}\right)}=\frac{ne}{R}.$

অর্থাৎ সমবায়ের মোট প্রবাহ $= n \times$ একটি কোষের প্রবাহ। সুতরাং যখন বহিরোধ R বেশী এবং আভ্যন্তরীণ রোধ r কম হয় তখন তীব্র প্রবাহ পাইবার জন্য কোষগুলিকে শ্রেণীতে যোগ করিতে হয়।

(iii) যদি একটি কোষ ভুল ভাবে সংযুক্ত হয় তখন $(n-1)$ কোষ একদিকে প্রবাহ পাঠাইবে এবং ভুল কোষ বিপরীতদিকে প্রবাহ পাঠাইবে $(n-1)$ কোষের তঃ চাঃ বল $=(n-1)e$, ভুল কোষের তঃ চাঃ বল $=e$ ∴ লব্ধি (resultant). তড়িচ্চালক বল $=(n-1)\ e-e=(n-2)e$.

$$\text{লব্ধি প্রবাহ } i=\frac{(n-2)e}{nr+R}$$

(খ) **সমান্তরাল সমবায়** এই সমবায়ে সব কোষের সমস্ত নিম্ন বিভব পাতগুলি এক বিন্দুতে এবং উচ্চ বিভব পাতগুলি অপর এক বিন্দুতে সংযুক্ত থাকে।



৯১ নং চিত্র—
সমান্তরাল কোষ সমবায়

সুতরাং এই সমবায়ে একটি কোষের যে পাত থাকে n কোষে প্রত্যেক পাতের ক্ষেত্রফল n গুণ বাড়িয়া যায়।

গণনা: মনে কর কোষের সংখ্যা $=n$, প্রত্যেক কোষের আভ্যন্তরীণ রোধ $=r$ ওহম, তঃ চাঃ বল $=e$ ভোল্ট ও প্রবাহ $=i$ অ্যাঃ

(১) **সমান্তরাল সমবায়ের মোট তঃ চাঃ বল:** তঃ চাঃ বল পাতের ক্ষেত্রফলের উপর নির্ভর করে না। সুতরাং সমবায়ের তঃ চাঃ বল $=$ একটি কোষের তঃ চাঃ বল $=e$. ভোল্ট

(২) **সমান্তরাল সমবায়ের মোট রোধ:** রোধগুলি সমান্তরালে সংযুক্ত আছে।

∴ তুল্যাঙ্ক আভ্যন্তরীণ রোধের বিপরীত রাশি $=\frac{1}{r}+\frac{1}{r}+\frac{1}{r}\cdots n$ সংখ্যা $=\frac{r}{n}$

∴ তুল্যাঙ্ক রোধ $=\frac{r}{n}$, ওহম বহিরোধ $=R$ ওহম ∴ মোট রোধ $=R+\frac{r}{n}$. ওহম।

(৩) **সমান্তরাল সমবায়ের মোট প্রবাহ** $i = \frac{e}{R + \frac{r}{n}} = \frac{ne}{nR + r}$

এখানে দুইটি বিষয় বিবেচনা করা দরকার :—

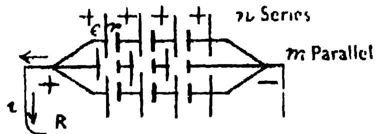
(i) যখন Rর তুলনায় r খুব বেশী হয় তখন $i = \frac{e}{\frac{r}{n}} = \frac{ne}{r}$ অর্থাৎ সমবায়ের প্রবাহ = n x একটি কোষের প্রবাহ।

(ii) যখন R এর তুলনায় r খুব ছোট হয় তখন $i = \frac{ne}{nR} = \frac{e}{R}$ অর্থাৎ সমবায়ের প্রবাহ = একটি কোষের প্রবাহ।

সুতরাং যখন বহিরোধ R কম ও আভ্যন্তরীণ রোধ r বেশী হয় তখন তীব্র প্রবাহ পাইবার জন্য সমান্তরাল সমবায় সুবিধাজনক।

(ঘ) **মিশ্র সমবায় :** কতকগুলি কোষকে শ্রেণীতে ও কতকগুলি কোষকে সমান্তরালে সংযুক্ত করিলে **মিশ্র সমবায়** সৃষ্ট হয়।

মনে কর n সংখ্যক একই রকমের কোষ **শ্রেণীতে** যুক্ত করিয়া একটি পংক্তিতে (row) রাখা হইল। এইরূপ m সংখ্যক পংক্তি **সমান্তরালে** যুক্ত করা হইল। মনে কর বহিরোধ = R ওহম। প্রত্যেক কোষের তঃ চাঃ বল = e ভোল্ট, প্রত্যেক কোষের আভ্যন্তরীণ রোধ = r ওহম।



(১) **মিশ্র সমবায়ের তঃ চাঃ বল :** এখানে m পংক্তি পাশাপাশি থাকাতে প্রত্যেক কোষের প্লাতগুলি m গুণ বাড়িয়া যায় সুতরাং সমবায়ের n কোষ যুক্ত প্রত্যেক পংক্তির তঃ চাঃ বল = ne

∴ মিশ্র সমবায়ের তঃ চাঃ বল = প্রত্যেক পংক্তির তঃ চাঃ বল = ne.

(২) **মিশ্র সমবায়ের রোধ :** n কোষের প্রত্যেক পংক্তির মধ্যে

আভ্যন্তরীণ রোধ $=nr$. মনে কর এইরূপ m পংক্তি যুক্ত করিলে মোট আভ্যন্তরীণ রোধ R' হয়।

$$\therefore \quad \frac{1}{R'}=\frac{1}{nr}+\frac{1}{nr}+\ldots m \text{ সংখ্যা}=\frac{m}{nr} \qquad \therefore \quad R'=\frac{nr}{m}.$$

(৩) **মিশ্র সমবায়ের মোট প্রবাহ :** $i=\dfrac{ne}{R+\dfrac{nr}{m}}=\dfrac{m.ne}{mR+nr}$ ....(ক)

৬৬। **গরিষ্ঠ প্রবাহের জন্য সমবায়** (Combination for maximum current) :

মনে কর N সংখ্যক একই ধরণের কোষ দেওয়া হইয়াছে। মনে কর Nএর মধ্যে n সংখ্যক কোষ শ্রেণীতে যুক্ত আছে এবং এইরূপ m পংক্তি আছে।

$$\therefore \quad N=mn.$$

(ক) হইতে, $i=\dfrac{mne}{mR+nr}=\dfrac{mne}{(\sqrt{mR}-\sqrt{nr})^2+2\sqrt{mnrR}}$

এখানে mn একটি নিত্য (constant) সংখ্যা। প্রত্যেক কোষের r ও e নিত্য সংখ্যা এবং Rও নিত্য সংখ্যা।

$\therefore$ mne ও $mnRr$ দুইটি নিত্য সংখ্যা সুতরাং iকে গরিষ্ঠ হইতে হইলে হরকে (denominator) লঘিষ্ঠ করা দরকার কিন্তু $2\sqrt{mnRr}$ নিত্য সংখ্যা। সুতরাং i গরিষ্ঠ হইবে যদি $(\sqrt{mR}-\sqrt{nr})^2$ লঘিষ্ঠ হয় অর্থাৎ যদি $(\sqrt{mR}-\sqrt{nr})^2)=0$

$$\text{বা} \quad mR=nr \quad \text{বা} \quad \frac{m}{n}=\frac{r}{R} \text{ ....(ক)} \quad \text{বা} \quad R=\frac{nr}{m} \text{ ...(খ)}$$

এই গণনা হইতে দুইটি নিয়ম পাওয়া যায় :—

(ক) যখন m ও nএর অনুপাত r ও Rএর অনুপাতের সঙ্গে সমান হয় তখন গরিষ্ঠ প্রবাহ পাওয়া যায়।

(খ) যখন বহির্রোধ R ও সমবায়ের আভ্যন্তরীণ রোধ $\left(\frac{nr}{m}\right)$ সমান হয় তখন গরিষ্ঠ প্রবাহ পাওয়া যায়।

গরিষ্ঠ প্রবাহ $i' = \frac{n.m\ e}{mR+nr} = \frac{mne}{2mR} = \frac{ne}{2R} = \frac{ne}{2r}$.

অঙ্ক : 1. An electric current of 5 amperes is divided into three branches, the lengths of the wire in three branches being proportional to 1 : 2 : 3. Find the current in each. (The wires are of the same material and cross section). (C. U. 1923).

মনে কর দুই বিন্দুতে $r_১$ $r_২$ $r_৩$ রোধ বিশিষ্ট তিনটি শাখা তার যুক্ত হইয়াছে। উহাদের মধ্যে বিভব-ভেদ $= e$.

মনে কর $i_১$, $i_২$, $i_৩$ প্রবাহ তিনটি শাখা তারের মধ্য দিয়া প্রবাহিত হইতেছে।

$$\therefore\ e = i_১ r_১ = i_২ r_২ = i_৩ r_৩$$

$$\therefore\ i_২ = i_১ \times \frac{r_১}{r_২} = i_১ \times \frac{১}{২}\ ;\ i_৩ = i_১ \frac{r_১}{r_৩} = i_১ \times \frac{১}{৩}$$

আমরা জানি $i = i_১ + i_২ + i_৩$ বা $৫ = i_১(১ + \frac{১}{২} + \frac{১}{৩}) = i_১ \times \frac{১১}{৬}$

$\therefore\ i_১ = \frac{৩০}{১১}$ অ্যাঃ ; $i_২ = \frac{১৫}{১১}$ অ্যাঃ ; $i_৩ = \frac{১০}{১১}$ অ্যাঃ

2. A galvanometer of 40 ohms resistance is shunted by a shunt of 5 ohms. Find the combined resistance of the shunt and the galvanometer. Find also the current which flows through the galvanometer when a battery of 20 volts and an external resistance of 10 ohms are connected in series. (D. U. 1928).

$\frac{১}{R} = \frac{১}{৪০} + \frac{১}{৫} = \frac{৯}{৪০}$ $\therefore\ R = \frac{৪০}{৯}$ ওহম। $i = \frac{২০}{১০ + \frac{৪০}{৯}} = \frac{২০ \times ৯}{১৩০}$

$\therefore\ i_g = i.\frac{s}{g+s} = \frac{১৮}{১৩} \times \frac{৫}{৪০+৫} = \frac{২}{১৩}$ অ্যাঃ

3. Determine the number of cells required to send a current of half an ampere through a body whose resistance is 30 ohms, if each cell has an E. M. F. of 1.25 volts and a resistance of 2 ohms. (C. U. 1925).

মনে কর কোষগুলি শ্রেণীতে যুক্ত আছে।

$$\therefore \quad i = \frac{ne}{nr+R} \quad \therefore \frac{১}{২} = \frac{n \times ১·২৫}{n \times ৩ + ৩০}$$

বা $২·৫\, n = ৩০ + ২n \quad \therefore \quad n = ৬০$ কোষ।

4. The poles of a Daniell cell of E. M. F 1·1 volt and internal resistance 1 ohm are joined by two wires in series, a wire AB of 4 ohms and a wire BC of 6 ohms resistance. The positive pole of the cell is connected to the end A of the series. What will be the readings of the voltmeter connected between (i) A & B (ii) B & C (iii) A & C.

এখানে রোধগুলি শ্রেণীতে যুক্ত হইয়াছে। সুতরাং মোট রোধ= $৬+৪+১=১১$ ওহম। প্রবাহ $i = \frac{e}{১১} = \frac{১·১}{১১} = ১$ অ্যাঃ।

মনে কর A ও B এর মধ্যে বিভব-ভেদ $= V_১$, B ও C এর মধ্যে বিভব-ভেদ $= V_২$, A ও C এর মধ্যে বিভব-ভেদ $= V_৩$

$\therefore \quad V_১ = ·১ \times ·৪ = ৪$ ভোঃ ; $V_২ = ·১ \times ৬ = ·৬$ ভোঃ,

$V_৩ = ·১ \times ১০ = ১$ ভোঃ।

5. A cell has E. M. F of 1·5 volts and internal resistance of 2 ohms. If the terminals of the cell are connected by two wires in parallel of 2 ohms and 4 ohms resistance respectively, what is the current in each wire and what is the potential difference between the terminals of the cell ? Calculate also the potential difference

(a) when the current is cut off in one of the wires and (b) when it is cut off in the other. (P. U. 1941).

মনে কর কোষের বিভব-ভেদ=V, ২ ওহম তারে $i_১$ প্রবাহ এবং ৪ ওহম তারে $i_২$ প্রবাহ যায়।

মোট প্রবাহ $i=i_১+i_২$; মনে কর R=তুল্যাঙ্ক রোধ ;

$$\therefore \frac{১}{R}=\frac{১}{২}+\frac{১}{৪}=\frac{৩}{৪} \quad \therefore i=V/\tfrac{৪}{৩}=\frac{৩V}{৪}$$

আবার $i=\frac{১.৫}{১+\frac{৪}{৩}}=\frac{৯}{২০}$ অ্যাঃ $\therefore \frac{৩V}{৪}=\frac{৯}{২০}$ বা $V=\frac{৩}{৫}$ ভোল্ট

$$\therefore i_১=\frac{V}{২}=\frac{৩}{৫\times১}=.৩ \text{ অ্যাঃ}; \quad i_২=\frac{V}{৪}=\frac{৩}{৫\times৪}=.১৫ \text{ অ্যাঃ}$$

(a) $i=\frac{১.৫}{২+৪}=.২৫$ অ্যাঃ $\therefore$ বিভব-ভেদ $=.২৫\times৪=১$ ভোঃ

(b) $i=\frac{১.৫}{২+২}=.৩৭৫$ অ্যাঃ ; বিভব-ভেদ $=.৩৭৫\times২=.৭৫$ ভোঃ

6. A battery of 4 cells in series, each of E. M. F 1·7 volts and internal resistance of ·2 ohms sends a current of ·4 ampere through an external resistance. What is the value of the resistance, and what is the P. D. between its ends? (C. U. 1948).

$$i=\frac{ne}{R+nr} \quad \therefore .৪=\frac{৪\times১.৭}{R+৪\times.২} \text{ বা } .৪R+.৩২=৬.৮$$

$.৪R=৬.৪৮$, $R=১৬.২$ ওহম ; $V_a-V_b=iR=.৪\times১৬.২=৬.৪৮$ ভোঃ।

7. A current is sent through two galvanometers in series. The deflection is seen to be the same in both galvanometers. Compare the radii of the coils if the number of turns is 110 in the first coil and 25 in the second.

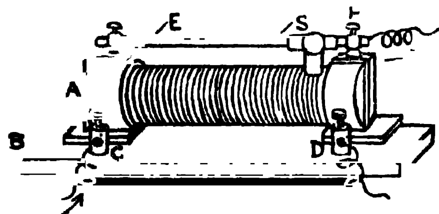
মনে কর কুণ্ডলীর ব্যাসার্ধ যথাক্রমে $r_১ + r_২$; দুই কুণ্ডলীতে একই প্রবাহ চলিতেছে।

$$\therefore \frac{Hr_১}{২\pi n_১} \cdot \tan\theta = \frac{Hr_২}{২\pi n_২} \cdot \tan\theta \qquad \therefore \frac{r_১}{r_২} = \frac{n_১}{n_২} = \frac{১১০}{২৫} = \frac{২২}{৫}.$$

৬৭। তড়িৎ সংক্রান্ত যন্ত্রপাতি :—(ক) যোজক ও সংযোজক (Binding Screw and Connector) **:** ইহারা পিতল বা তামায় প্রস্তুত। ইহারা বিভিন্ন আকারের হয়। ইহারা বিভিন্ন উদ্দেশ্যে ব্যবহৃত হয়।

(খ) বিভিন্ন প্রকারের রোধ (Forms of Resistance) **:** তারের উপাদান, দৈর্ঘ্য ও প্রস্থচ্ছেদের উপর উহার রোধ নির্ভর করে। সুতরাং বর্তনীতে প্রবাহ নিয়ন্ত্রিত করিবার জন্য বিভিন্ন উপাদান, দৈর্ঘ্য ও প্রস্থচ্ছেদের তার রোধ হিসাবে ব্যবহার করা হয়। ইহারা দুই প্রকারের :—পরিবর্তনীয় রোধ কুণ্ডলী বা রিওষ্টেট এবং নির্দিষ্ট মানের রোধ কুণ্ডলী।

(১) রিওষ্টেট (Rheostat) **:** ইহা পরিবর্তনীয় রোধ কুণ্ডলী। এই যন্ত্রের সাহায্যে বর্তনীর রোধ ক্রমশঃ বাড়ান বা কমান যায়। তবে এই যন্ত্রে রোধের মান জানা দরকার হয় না। এই যন্ত্রে একটি অন্তরক পদার্থের (যথা চিনা মাটির) চোঙের (A) উপর উচ্চ রোধাঙ্কের অনাবৃত তারের (যথা manganine) কুণ্ডলী জড়ান থাকে। কুণ্ডলীর পাকগুলি পরস্পর স্পর্শ করে না। B পাটাতনের উপর রক্ষিত C ও D দুইটি যোজক স্ক্রুতে কুণ্ডলীর তারের দুই প্রান্ত যুক্ত থাকে।



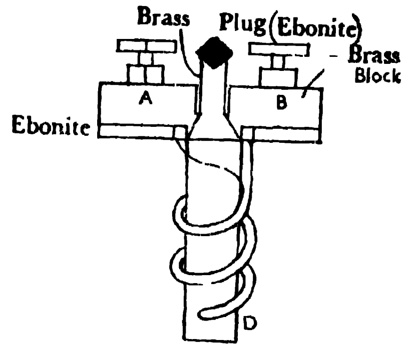
৯৩ নং চিত্র—রিওষ্টেট

আবার তারের এক প্রান্ত একটি E ধাতব দণ্ডের সহিত যুক্ত থাকে। এই দণ্ডের গায়ে একটি ইতস্ততঃ গমনশীল স্পর্শক ধাতুর পাত (sliding contact) S থাকে। ধাতুর পাতকে এদিক-ওদিক সরাইয়া কুণ্ডলীর বিভিন্ন অংশ স্পর্শ করিয়া বর্তনীর

মধ্যে আনা হয়। ইহাতে রোধও পরিবর্তিত হয়। F ও C কিংবা D যোজক-স্ক্রুর দ্বারা বর্তনীতে যন্ত্রকে রাখা হয়।

কতকগুলি কারবন ল্যাম্প সমান্তরালে যোগ করিয়া রিওষ্টেট হিসাবে ব্যবহার করা হয়। একটি নলে পাতলা তুঁতের দ্রবণ কিংবা সাল্‌ফিউরিক অম্ল ভর্তি করিয়া নলের মুখে রবারের ছিপি দিয়া বন্ধ করা হয়। ছিপির মধ্য দিয়া দুইটি মোটা তামার দণ্ড ঢোকান থাকে। দুই দণ্ডের ভিতর প্রান্তে দুইটি তামার চাক্‌তি ঝাল দেওয়া থাকে। দুই চাকতির দূরত্ব কম-বেশী করিয়া রোধ পরিবর্তন করা হয়।

(২) **রোধ-কুণ্ডলী** (Resistance Coil) : নির্দিষ্ট মানের রোধবিশিষ্ট কুণ্ডলীকে **রোধ-কুণ্ডলী** বলে। রোধ-কুণ্ডলীতে সাধারণতঃ প্লাটিনাম-রূপার, জারমান-রূপার কিংবা কনষ্টানটান (constantan বা eureka) ম্যাংগানিনের (manganin) তার ব্যবহার করা হয়। জারমান-রূপা তামা দস্তা ও নিকেলের সংকর ধাতু। ম্যাংগানিন তামা, নিকেল ও ম্যাংগানিজের সংকর ধাতু। কনষ্টানটান নিকেল ও তামার সংকর ধাতু। বিশুদ্ধ ধাতু



৯৪ নং চিত্র—রোধ কুণ্ডলী

অপেক্ষা এই সকল সংকর ধাতুর রোধাঙ্ক বেশী এবং উষ্ণতার হ্রাস-বৃদ্ধিতে রোধের হ্রাস-বৃদ্ধি খুব কম অর্থাৎ ইহাদের উষ্ণতা-গুণাঙ্ক খুব কম। প্রত্যেক কুণ্ডলী এক ওহমের গুণিতক ভগ্নাংশ রোধ বিশিষ্ট হয়। তারকে অন্তরিত করিবার জন্য প্রত্যেক তার এক বা দুই স্তর রেশম সুতা দ্বারা জড়ান থাকে কেবল দুই প্রান্ত অনাবৃত থাকে। দীর্ঘ তারের মাঝখানে ভাঁজ করিয়া দুইটি অংশকে এক সঙ্গে কাগজ দ্বারা আবৃত একটি চোঙ D-র গায়ে জড়ান হয়। তারটিকে স্ব-আবেশের (self-induction) প্রভাব হইতে

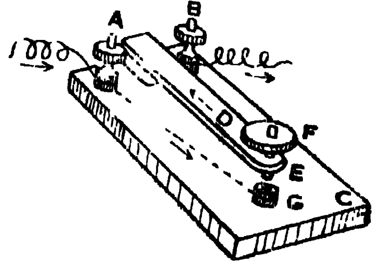
মুক্ত রাখিবার জন্য এইরূপ দুই ভাঁজ করা হয়। প্রত্যেক কুণ্ডলীকে মোমাবৃত করা হয়। ইহার ফলে কুণ্ডলীর পাকগুলি স্থির থাকে, অন্তরণ (insulation) ভাল হয়, কুণ্ডলী আর্দ্রতা মুক্ত হয়। তারের দুই প্রান্ত দুইটি পুরু পিতলের পাত (brass block) A ও Bতে ঝালাই করা থাকে। পাতের নীচে একটু অন্তরক ইবোনাইট থাকে। A ও B দণ্ডের ফাঁকের মধ্যে E প্লাগ বসান থাকে। প্লাগের মাথাটা ইবোনাইটের কিন্তু নীচের অংশ পিতলের (brass) তৈরি। এই কুণ্ডলী পৃথকভাবে ব্যবহৃত হয়। দণ্ডের গায়ে রোধের মান লেখা থাকে।

(৩) **রোধ বাক্স** (Resistance Box): একটি বাক্সে ধারাবাহিকভাবে শ্রেণী ক্রমে (in series) ভিন্ন ভিন্ন মানের উপরোক্ত রোধ-কুণ্ডলী নিম্নলিখিতভাবে সাজান থাকে। বাক্সের উপর তল ইবোনাইটে প্রস্তুত। ইবোনাইটের গায়ে কতকগুলি পিতলের পাত লাগান থাকে। প্রত্যেক দুইটি পাতের মধ্যে একটু ফাঁক থাকে। কুণ্ডলী তারের দুই প্রান্ত ফাঁকের দুই দিকে পাতে ঝালাই করা থাকে। ফাঁকের মধ্যে ইবোনাইটের মাথা ধরিয়া একটি পিতলের প্লাগ (plug) P আঁটভাবে বসান যায় বা তোলা যায়। মনে রাখিবে কোন প্লাগ তুলিয়া লইলে একটি পাত হইতে প্রবাহ রোধ-কুণ্ডলীর মধ্য দিয়া অপর পাতে যায় অর্থাৎ আনুসঙ্গিক রোধ কুণ্ডলী বর্তনীর অন্তর্ভুক্ত হয়। যখন প্লাগ ফাঁকের মধ্যে বসান থাকে তখন প্রবাহ সরাসরি প্লাগের ভিতর দিয়া যায় কারণ প্লাগের রোধ-কুণ্ডলীর রোধের তুলনায় নগণ্য। পিতলের পাতের গায়ে রোধের বিভিন্ন মান লেখা থাকে। রোধের শ্রেণী সমবায়ের দুই প্রান্ত দুইটি যোজক-স্ক্রু A ও Bর সঙ্গে যুক্ত থাকে।

(খ) **চাবি** (Keys): এই যন্ত্র দিয়া ইচ্ছামত প্রবাহ চালান যায় বা বন্ধ করা যায়। চাবি দুই প্রকারের।

(i) **টোকামারা চাবি** (Tapping Key):—ক্ষণিকের জন্য প্রবাহ দরকার হইলে ইহা ব্যবহৃত হয়। এই যন্ত্রে ইবোনাইটের পাটাতনে দুইটি যোজক-স্ক্রু A ও B থাকে। একটি যোজক-স্ক্রু (মনে কর B) একটি পিতলের স্প্রাংয়ের পাত Dএর সঙ্গে যুক্ত আছে। D পাতের

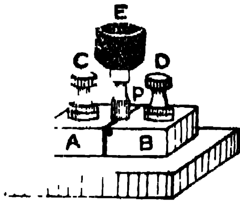
শেষে পিতলের বোতাম E থাকে। বোতামের মাথায় F ইবোনাইট টুপি থাকে। অপর যোজক-স্ক্রু A পাটাতনের তলা দিয়া একটি তার দ্বারা G বোতামের সঙ্গে যুক্ত থাকে। A ও B যোজক-স্ক্রু বর্তনীর সঙ্গে যুক্ত থাকে। F টুপি টিপিলে E বোতাম G বোতামের সংস্পর্শে আসে এবং ক্ষণিকের জন্য বর্তনী সম্পূর্ণ হয়



৯৫ নং চিত্র—টোকা মারা চাবি

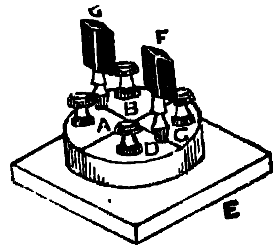
চাপ সরাইলে স্প্রীং আপনা-আপনি উপরে উঠিয়া যায় এবং বর্তনী ছিন্ন হয়।

(ii) **প্লাগ চাবি:** অধিক সময়ের জন্য প্রবাহ দরকার হইলে ইহা ব্যবহৃত হয়। ইবোনাইট পাটাতনের উপর দুইটি মোটা ধাতব পাত A ও B আঁটা থাকে। দুই ধাতব পাতে দুইটি যোজক-স্ক্রু C ও D যুক্ত থাকে। পাত দুইটির মাঝখানে একটি ফাঁক থাকে। ফাঁকের মধ্যে একটি প্লাগ P রাখিলে বর্তনী সম্পূর্ণ হয়। প্লাগের মাথায় ইবোনাইট টুপি E আছে। টুপি ধরিয়া প্লাগ তুলিয়া লইলে বর্তনী ছিন্ন হয়।



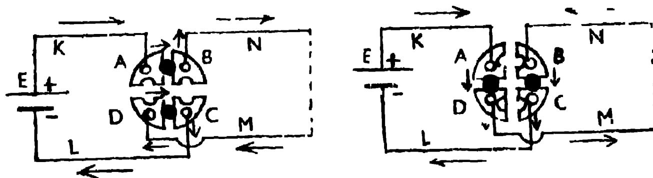
৯৬ নং চিত্র—প্লাগচাবি

(গ) **কমিউটেটর** (Commutator): এই যন্ত্রের দ্বারা বর্তনীর কোন অংশে প্রবাহের অভিমুখ পরিবর্তন করা হয়। Quadrant কমিউটেটর যন্ত্রে চারিটি পিতলের মোটা পাত (A, B, C, D) একটি ইবোনাইটের E পাটাতনে আঁটা থাকে। প্রত্যেক দুই পাতের মধ্যে একটু ফাঁক আছে। সর্বশুদ্ধ চারিটি ফাঁক আছে। প্রত্যেক পাতে একটি করিয়া যোজক-স্ক্রু জোড়া থাকে। দুইটি প্লাগ দ্বারা যে কোন দুইটি ফাঁক একসঙ্গে বন্ধ করা যায়।



৯৭ নং চিত্র—Quadrant কমিউটেটর

মনে কর প্রথম চিত্রে A ও Bএর মধ্যে একটি এবং D ও Cএর মধ্যে অপর প্লাগ আছে। E ব্যাটারি হইতে প্রবাহ K পথে কমিউটেটরের A পাতে প্রবেশ করিয়া প্লাগের মধ্য দিয়া B পাতে যায় তথা হইতে N পথে বর্তনীতে যায় এবং



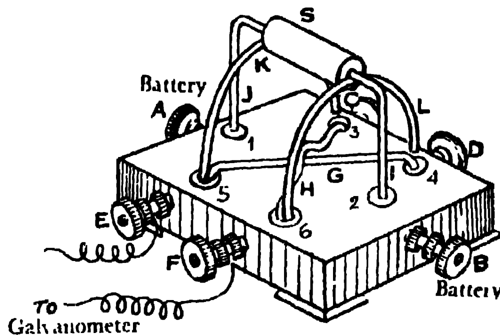
৯৮ নং চিত্র—গোল কাল অংশ প্লাগ

M পথে ফিরিয়া D পাতে কমিউটেটরে প্রবেশ করে; D পাত হইতে প্লাগের মধ্য দিয়া C পাতে যায় এবং C পাত হইতে L পথে ব্যাটারিতে ফিরিয়া যায়।

দ্বিতীয় চিত্রে A ও Dএর মধ্যে একটি প্লাগ এবং B ও Cএর মধ্যে অপর প্লাগ রাখা হইল। এবার প্রবাহ A পাত হইতে D পাতে যায় এবং তথা হইতে M পথে বর্তনীতে প্রবাহ ঢোকে ও N পথে বর্তনী হইতে বাহির হয় অর্থাৎ বর্তনীতে প্রবাহের অভিমুখ বদলাইয়া যায়। ব্যাটারিতে প্রবাহের অভিমুখ বদলায় না। সব সময়ে দুইটি বিপরীত জোড়া পাত ব্যাটারির সঙ্গে এবং অপর দুইটি বিপরীত পাত বর্তনীর সঙ্গে যোগ করিতে হয়। N ও M এর মধ্যে একটি গ্যালভানোমিটার রাখিলে ইহা বোঝা যায়।

পোলের কমিউটেটর (Pohl's Commutator) :—এই যন্ত্রে খুব তাড়াতাড়ি বর্তনীতে প্রবাহের অভিমুখ উল্টান যায়। এই যন্ত্রে একটি ইবোনাইট পাটাতনে ছয়টি পারদের বাটি (1, 2, 3, 4, 5, 6) থাকে। ছয়টি বাটির সঙ্গে ছয়টি যোজক-স্ক্রু (*A*, *B*, C, *D*, *E*, *F*) সংযোগ থাকে। 5 ও 4 নং বিপরীত বাটি তামার G কর্ণ দ্বারা এবং 3 ও 6 নং বিপরীত বাটি আর একটি তামার কর্ণ H দ্বারা যুক্ত হয়। H কর্ণ G কর্ণের উপর দিয়া যায়। কিন্তু ইহারা পরস্পর স্পর্শ করে না। একটি তারের ফ্রেমের দোলার

(Wire frame rocker) দুইটি মাঝের পা I ও J অবশিষ্ট দুইটি বাটিতে (1, 2) ডুবিয়া থাকে। দোলাটির J ও I পা যথাক্রমে দুইটি অর্ধবৃত্তাকার পিতলের দণ্ড K ও Lর সঙ্গে যুক্ত থাকে কিন্তু দুইটি দণ্ডের মধ্যে অন্তরক কাচ



৯৯ নং চিত্র—Pohl's কামউটেটর

S থাকে। L ও K দণ্ড দুইটি এমন দৈর্ঘ্যের হয় যে যখন উহাদের একপ্রান্ত সম্মুখের 5 ও 6 নং বাটিতে ডুবিয়া থাকে উহাদের অপর প্রান্ত পিছনের 3 ও 4 নং বাটিকে স্পর্শ করে না।

ব্যাটারির প্রান্তদ্বয় A ও B যোজক-স্ক্রুর সঙ্গে যোগ কর। গ্যালভ্যানোমিটার যুক্ত বর্তনীর দুই প্রান্ত E ও F কিংবা C ও Dর সঙ্গে যোগ কর। দোলাটিকে সম্মুখে বা যোজক-স্ক্রুর পশ্চাতে সরাইলে বর্তনীতে প্রবাহের অভিমুখ উলটাইয়া যায়।

৬৮। **রোধ মাপ** (Measurement of Resistances): ছইটি উপায়ে রোধ মাপা যায়, যথা:—

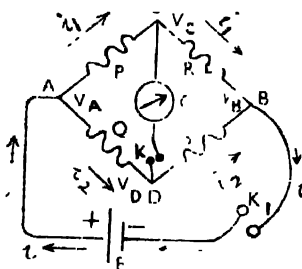
(ক) **বদলি নিয়ম** (Method of Substitution): প্রথমে অজ্ঞাত রোধকে শ্রেণীতে ব্যাটারি ও গ্যাল্‌ভ্যানোমিটারের সঙ্গে যোগ কর এবং গ্যাল্‌ভ্যানোমিটারের বিক্ষেপ লিখ। বর্তনী হইতে অজ্ঞাত রোধ তুলিয়া তার জায়গায় রোধ-বাক্স শ্রেণীতে যোগ করিয়া রোধ-বাক্সের রোধগুলি ঠিক কর

যাহাতে গ্যাল্‌ভ্যানোমিটারে বিক্ষেপ পূর্ববৎ হয়। এই রোধগুলির যোগফল= অজ্ঞাত রোধ। এই নিয়মে রোধ মোটামুটি ভাবে মাপা যায়।

(খ) তুলনামূলক পদ্ধতি: হুইট্‌ষ্টোন ব্রীজের (Wheatstone's Bridge) **নীতি** দিয়া রোধ মাপা হয়। এই নীতি তুলনা মূলক পদ্ধতির উপর নির্ভর করে।

নীতি: বর্তনীতে দুইটি বিন্দু A ও B চারিটি পরিবাহী AC, CB, AD DB, দ্বারা যুক্ত থাকে। ইহাদের রোধ যথাক্রমে P, R, Q, S ওহম। এই চারিটি বাহু চতুর্ভুজ গঠন করে। C ও D বিন্দু যথাক্রমে গ্যাল্‌ভ্যানোমিটার G ও চাবি K দ্বারা যুক্ত। আবার B বিন্দু (K_1 চাবির মধ্য দিয়া) এবং A বিন্দু ব্যাটারির যথাক্রমে—ও+প্রান্ত-বন্ধনীর সঙ্গে যুক্ত।

গণনা: মনে কর A, B, C, D বিন্দুতে বিভব যথাক্রমে V_A, V_B, V_C, V_D। K_1 ও K চাবি বন্ধ করিয়া বর্তনী সংহত (close) কর। A হইতে B পর্যন্ত বিদ্যুৎ প্রবাহিত হইতে থাকিলে ACB বা ADB যে কোন পথে বিভব V_A হইতে V_Bতে ধীরে ধীরে কমিয়া যাইবে। সুতরাং ADB পথে এমন একটা বিন্দু পাওয়া যাইবে যাহার বিভব ACB পথের C বিন্দুর বিভবের সমান। মনে কর ADB পথে D হইল এইরূপ বিন্দু। রোধগুলি এমনভাবে অবস্থিত কর যাহাতে ACB পথের C বিন্দুতে বিভব V_C= ADB পথের D বিন্দুর বিভব V_D হয়। এইরূপ ক্ষেত্রে CD বা DC পথে কোন প্রবাহ যাইবে না, গ্যালভ্যানোমিটারের কোন বিক্ষেপ হইবে না, কারণ C ও D বিন্দু একই বিভবে থাকে। ব্যাটারি হইতে i প্রবাহ Aতে আসিয়া দুই অংশে বিভক্ত হয়, i_1 প্রবাহ AC ও CB পথে এবং i_2 প্রবাহ AD ও DB পথে যায়। ইহারা পুনরায় B তে মিলিয়া i প্রবাহ হইয়া ব্যাটারিতে ফিরিয়া যায়। AC পথের প্রবাহ $=i_1-$CB



১০০নং চিত্র—হুইট্‌ষ্টোন ব্রীজ

পথের প্রবাহ এবং AD পথের প্রবাহ $=i_2=$ DB পথের প্রবাহ। যে ব্যবস্থায় বর্তনীতে অন্তর্ভুক্ত গ্যালভ্যানোমিটার বিক্ষেপ শূন্য হয় তাহাকে **নিস্পন্দ বিন্দু** (Null Point) বলে।

$$\text{ওহম সূত্রানুসারে, প্রবাহ} = \frac{\text{বিভব-ভেদ}}{\text{রোধ}}$$

$$\therefore \quad i_1 = \frac{V_A - V_C}{P} = \frac{V_C - V_B}{R} \qquad \ldots \text{ (ক)}$$

$$i_2 = \frac{V_A - V_D}{Q} = \frac{V_D - V_B}{S} \qquad \ldots \text{ (খ)}$$

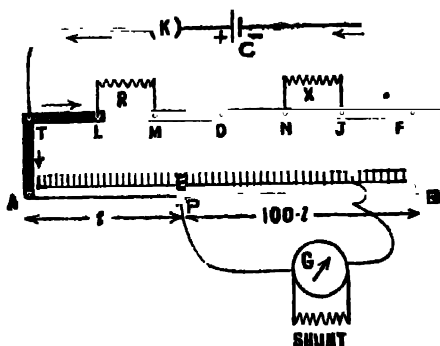
এক্ষেত্রে $V_C = V_D$ $\therefore$ $V_A - V_C = V_A - V_D$ এবং $V_C - V_B = V_D - V_B$.

(ক)কে (খ) দিয়া ভাগ করিয়া $\frac{P}{Q} = \frac{R}{S}$. এই নীতিকে হুইটষ্টোন ব্রীজের নীতি বলে। চারিটি রোধের মধ্যে তিনটি রোধ জানা থাকিলে চতুর্থটি নির্ণয় করা যায়। সাধারণতঃ রোধ মাপিবার যন্ত্রে P ও Q এর মান নির্দিষ্ট থাকে। R এর মান বদলান হয় যতক্ষণ না গ্যালভ্যানোমিটার বিক্ষেপশূন্য হয়। S অজ্ঞাত রোধ।

(গ) সমীকরণকে এইভাবে লেখা যায় :— $\frac{P}{R} = \frac{Q}{S}$. ব্যাটারি ও গ্যালভ্যানোমিটারের অবস্থান বিনিময় করিলে $\frac{P}{R} = \frac{Q}{S}$ সর্ত পালিত হয়। সুতরাং ব্যাটারির বাহু AB ও গ্যালভ্যানোমিটার বাহু CD বিনিময় যোগ্য। এই বাহুদ্বয়কে **অনুচ্ছেদ বাহু** (Conjugate arm) বলে।

মিটার ব্রীজ : (ক) মিটার ব্রীজ (Metre Bridge) ও (খ) **পোষ্টাফিস বাক্স** (Post Office Box) নামক দুইটি যন্ত্র দিয়া হুইটষ্টোন ব্রীজের নীতিতে রোধ মাপা হয়।

(ক) মিটার ব্রীজ : যন্ত্র : সমান প্রস্থচ্ছেদের এক মিটার দীর্ঘ সরু অনাবৃত ম্যান্‌গানিন তার AB মোটা তামার পাতের সহিত A ও B বিন্দুতে ঝালাই করা থাকে। তারের দৈর্ঘ্য বরাবর একটি মিটার স্কেল S আছে। তামার পাতটি তিনটি অংশে বিভক্ত AL, MN ও JB। A, T, L M, D, N, J, F ও B বিন্দুতে যোজক-স্ক্রু আছে। তামার পাতে দুইটি LM ও NJ দুইটি ফাঁক আছে। তামার পাত ও তার একটি আয়তক্ষেত্রিক পাটাতনের উপর স্থাপিত হয়। E একটি ধাতব সঞ্চরণশীল স্পর্শক (sliding contact maker)। Eতে একটি যোজক-স্ক্রু থাকে। স্পর্শককে সোয়ার'ও (jockey) বলে। সোয়ারের একটি বোতাম (knob) টিপিলে ধাতব সোয়ারের সহিত AB তারের সংযোগ হয়।



১০১নং চিত্র—মিটার ব্রীজ

কার্য্যপদ্ধতি : C ব্যাটারির প্রান্ত-বন্ধনী K চাবির ভিতর দিয়া T ও F যোজক-স্ক্রুর সহিত যোগ কর। L M ফাঁকে নির্দিষ্ট রোধ R রাখ। N J ফাঁকে অজ্ঞাত রোধ X রাখ। সাণ্টযুক্ত গ্যাল্‌ভানোমিটারের দুই প্রান্ত D যোজক-স্ক্রুর ও সোয়ার E'র সঙ্গে যোগ কর। K চাবি বন্ধ করিয়া বর্তনীকে সংহত কর। C ব্যাটারি হইতে প্রবাহ T যোজক-স্ক্রুতে ভাগ হইয়া TABF ও TMJ পথে ব্যাটারিতে ফিরিয়া যায়। তামার তার মোটা বলিয়া ইহার রোধ নগণ্য। সুতরাং R ও X রোধ এবং AB তারের AE ও EB অংশ হুইটষ্টোনের চারিটি বাহু। সোয়ারকে AB তার বরাবর এদিক-ওদিক সরাইয়া P বিন্দুতে লইয়া আন যেখানে গ্যালভ্যানোমিটার বিক্ষেপশূন্য হয়। এই অবস্থানে D ও P বিন্দুর বিভব সমান হয়। এইরূপে নিষ্প্রবাহ বিন্দু স্থির

কর। AB তার সমপ্রস্থচ্ছেদের বলিয়া ইহার রোধ দৈর্ঘ্যের সমানুপাতিক হয়।

$$\therefore \quad \frac{X}{R} = \frac{AP \text{ তারের রোধ}}{BP \text{ তারের রোধ}} = \frac{AP \text{ দৈর্ঘ্য}}{BP \text{ দৈর্ঘ্য}}$$

$$\therefore \quad X = R.\frac{AP}{BP}.$$

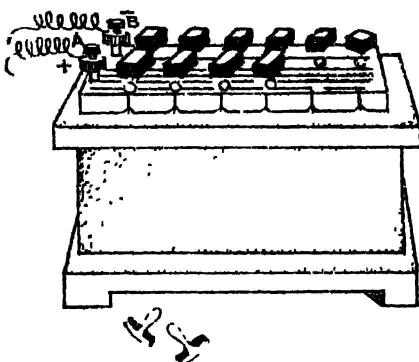
প্রবাহের অভিমুখ উলটাইয়া X বাহির কর। উহাদের গড় মান লও।

সাবধানতা : নিষ্প্রবাহ বিন্দু P তারের মাঝামাঝি হইলে ভাল হয়। এই ক্ষেত্রে X ও Rএর মানের পার্থক্য কম হওয়া দরকার। সেইজন্য Rএর জায়গায় একটি রোধ বাক্স লইয়া নিষ্প্রবাহ বিন্দু তারের মাঝখানে বাহির করার চেষ্টা করা হয়।

(খ) পোষ্টাফিস বাক্স (Post Office Box) : **যন্ত্র :** ইহা খুব উপকারী রোধ মাপক, ইহার সাহায্যে রোধ খুব নির্ভুলভাবে মাপা যায়। টেলিগ্রাফ ও টেলিফোন তারে দোষ দেখিবার জন্য ইহা ব্যবহৃত হইত বলিয়া ইহাকে পোষ্টাফিস বাক্স বলে। যন্ত্রের পরিসরও অল্প। সহজে ইহা বহন করা যায়।

যন্ত্র : এই বাক্সে তিন সারি রোধ-কুণ্ডলী থাকে। উপরের সারিতে C বিন্দু হইতে A বিন্দু পর্যন্ত প্রথম P বাহু এবং A বিন্দু হইতে D বিন্দু পর্যন্ত দ্বিতীয় Q বাহু। দুইটি বাহু P ও Qতে ১০, ১০০, ১০০০ ওহম সম্পন্ন তিনটি রোধ কুণ্ডলী থাকে। (১০৩নং চিত্র) এই দুই বাহুকে **ব্রীজের অনুপাত বাহু** (Ratio Arms) বলে। A ও A' বিন্দু পাটাতনের নীচ দিয়া মোটা ধাতব পাত দ্বারা যুক্ত সেইজন্য উহাদিগকে বৈদ্যুতিকভাবে একই বিন্দু ধরা যায়। C ও Bএর মধ্যে তৃতীয় বাহু R অবস্থিত। এই বাহুকে **রোধ বাহু** (Resistance বা Rheostat arm) বলে। এই বাহুতে 1, 2, 2, 5, 10, 20, 20, 50, 100, 200, 200, 500, 1000, 2000, 2000, 5000 ওহমের বিভিন্ন রোধ-কুণ্ডলী শ্রেণীবদ্ধ থাকে। প্লাগ চাবি খুলিলে প্রবাহ রোধ-কুণ্ডলীর

মধ্য দিয়া যায়। এই সকল রোধের সাহায্যে ১ হইতে ১০০০০ ওহম পর্যন্ত রোধ বর্তনীর R বাহুতে আনা যায়। B ও D বিন্দুর মধ্যে অর্থাৎ Q ও R বাহুর মধ্যে অজ্ঞাত রোধ X রাখা হয়। A' ও D বিন্দুর মধ্যে সাণ্ট (sh) যুক্ত G গ্যাল্‌ভ্যানোমিটার রাখা হয়। D' ও C বিন্দুর মধ্যে E ব্যাটারি রাখা হয়। দুইটি টিপিবার (tapping) চাবি K ও K' টিপিলে যথাক্রমে D' বিন্দু ও D বিন্দুর মধ্যে এবং A বিন্দু ও A' বিন্দুর মধ্যে তড়িৎ



১০২নং চিত্র—পোষ্টাফিস বাক্স

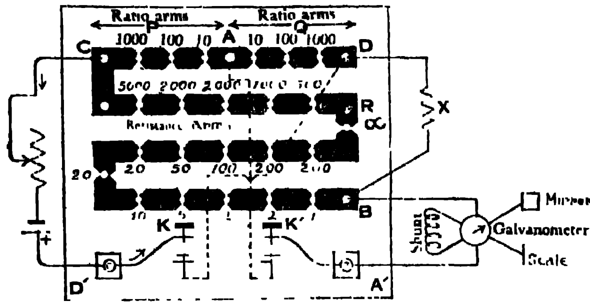
সংযোগ স্থাপিত হয়। সুতরাং K ও K' চাবি একসঙ্গে টিপিলে ব্যাটারি হইতে প্রবাহ D' হইয়া Dতে প্রবেশ করিয়া দুই ভাগে বিভক্ত হইয়া এক ভাগ Q ও P বাহু দিয়া Cতে আসে এবং অপর ভাগ R ও X বাহু দিয়া Cতে আসে। পুনরায় দুই ভাগ একত্র হইয়া ব্যাটারিতে ফিরিয়া যায়। ১০৩নং ছবিতে হুইটষ্টোনের ব্রীজের পোষ্টাফিস বাক্সের বাহুর ও রোধের তুলনা করা হইয়াছে।

গণনা ঃ B ও D এর মধ্যে অজ্ঞাত রোধ রাখ। প্রত্যেক অনুপাত বাহু P ও Q হইতে ১০ ওহমের প্লাগ চাবি তোল। R বাহুতে রোধ এমনভাবে ব্যবস্থিত কর যাহাতে K ও K_1 চাবি টিপিলে গ্যাল্‌ভানোমিটারের কোন বিক্ষেপ না হয় অর্থাৎ নিষ্প্রবাহ বিন্দু পাওয়া যায়। হুইটষ্টোন ব্রীজের নিয়মানুসারে

$$\frac{P}{Q} = \frac{১০}{১০} = \frac{R}{X} \qquad \therefore R = X.$$

অর্থাৎ নিষ্প্রবাহ বিন্দু পাওয়া যাইলে R বাহুর রোধ হইতেই সাক্ষাৎভাবে X পাওয়া যায়। যদি নিষ্প্রবাহ বিন্দু ঠিক না পাওয়া যায় অর্থাৎ যদি X এর মান

পূর্ণ সংখ্যা না হইয়া ভগ্নাংশ হয় তবে সমানুপাতিক নীতির (Principle of



১০৩ নং চিত্র—পোষ্টাফিস বাক্সের সম্পূর্ণ বর্তনী

proportional parts) সাহায্যে উহা গণনা করা হয়। অনুপাত বাহুর মান পরিবর্তন করিয়া R বাহুর মান পরিবর্তন করা হয়।

মনে কর অজ্ঞাত রোধ X এর মান ৫৩·৬৪ ওহম। এখন Pকে ১০০০ ওহম ও Qকে ১০ ওহম করিলে গ্যালভ্যানোমিটারে নিষ্প্রবাহ বিন্দুতে Rএর মান ৫৩৬৪ পাইব।

$$\therefore \frac{P}{Q} = \frac{১০০০}{১০} = \frac{৫৩৬৪}{X} \quad \therefore \quad X = ৫৩\cdot৬৪ \text{ ওহম।}$$

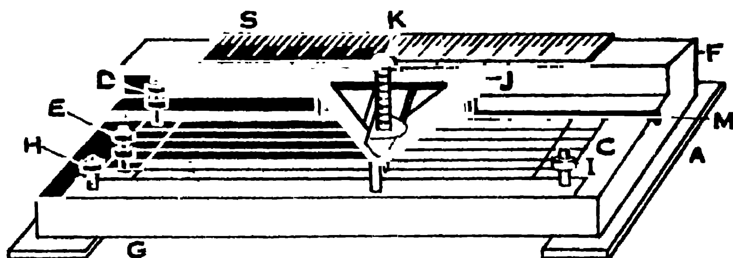
অর্থাৎ Xএর মানে যত স্থান ভগ্নাংশ থাকিবে $\frac{P}{Q}$এর মান ১ এর পর তত শূন্য হইবে।

দ্রষ্টব্য : (১) গ্যালভ্যানোমিটার বর্তনী যোগ করিবার (close) পূর্বে ব্যাটারি বর্তনী যোগ করিবে কিন্তু ব্যাটারি বর্তনী খুলিবার (break) পূর্বে গ্যাল্ভ্যানোমিটার বর্তনী খুলিবে নচেৎ স্ব-আবেশের (self-induction) জন্য গ্যাল্ভ্যানোমিটারের মধ্য দিয়া বিপরীত দিকে সাময়িক প্রবাহের উদ্ভব হইতে পারে। (২) ক্ষুদ্র রোধ মাপিবার পক্ষে মিটার ব্রীজ ও উচ্চ রোধ মাপিবার পক্ষে পোষ্টাফিস বাক্স উপযোগী। (৩) AB তারের রোধাঙ্ক $p = XS/l$ ওহম সেণ্টিমিটার সুতরাং তারের রোধ X, দৈর্ঘ্য l, প্রস্থচ্ছেদের

ক্ষেত্রফল S মাপিলে p পাওয়া যায়। (৪) সমান্তরাল রোধের নিয়ম এই দুই যন্ত্র দিয়া নিরূপিত হয়। (৫) পোষ্টাফিস বাক্সকে ধূলিমুক্ত রাখিবে যাহাতে কক্ষের ইবোনাইটের অন্তরণ নষ্ট না হয়। (৬) গর্তের মধ্যে প্লাগ চাবির সংস্পর্শের নিশ্চয়তার জন্য চাবিকে একটু ঘুরাইয়া বসাইবে। (৭) তীব্র প্রবাহ রোধ-কুণ্ডলীর মধ্য দিয়া অতিক্রম করাইবে না। ইহাতে কুণ্ডলী বেশী উত্তপ্ত হইলে রোধ পরিবর্তিত হইতে পারে।

৬৯। **কোষের তড়িচ্চালক বলের তুলনা** (Comparison of E. M. F of cells) **: পটেন্‌সিওমিটার** (Potentiometer) নামক যন্ত্র দিয়া তড়িচ্চালক বল মাপা বা তুলনা করা হয়।

যন্ত্র : দশটি সমপ্রস্থচ্ছেদের এক মিটার দীর্ঘ সরু ম্যাঙ্গানিন তার সমান্তরাল ভাবে একটি A কাঠের পাটাতনের উপর বিস্তৃত থাকে। ইহারা দুই প্রান্তে মোটা তামার B ও C পাত দ্বারা শ্রেণীবদ্ধ (series) ভাবে যুক্ত থাকে। সুতরাং সমস্ত তারের সমবায় একটি ১০ মিটার দীর্ঘ তারের মত আচরণ করে। প্রথম তারের প্রথম মুক্ত প্রান্তে ও শেষ তারের শেষ মুক্ত প্রান্তে দুইটি যোজক-স্ক্রু D ও E থাকে। পাটাতনের উপর দিকে উঁচু কাঠের



১০৪ নং চিত্র—পোটেনসিওমিটার

আসন Fএর উপর তারের সমান্তরালে একটি মিটার স্কেল S থাকে। পাটাতনের নীচের দিকে তারের সমান্তরালে একটি পিতলের পাত থাকে। এই পাতের দুই দিকে দুইটি যোজক-স্ক্রু H ও I থাকে। একটি ত্রিভুজাকার

সোয়াড় (Jockey) J র দুইটি পা পাটাতনের একটি নালা M র মধ্যে থাকে এবং তৃতীয় পা পিতলের পাতের উপর থাকে। সোয়ারের মধ্যের একটি পিতলের স্প্রীংয়ের চাবি K টিপিলে তারের যে কোন অংশের সঙ্গে তৃতীয় পায়ের সংযোগ স্থাপিত হয়। সোয়ারকে তারের এক প্রান্ত হইতে অপর প্রান্ত পর্যন্ত এদিক-ওদিক সরান যায়।

কার্য্যপদ্ধতি ও গণনা : (ক) ১০৪ নং চিত্রে D ও E যোজক-স্ক্রুর সহিত একটি গ্রাহী কোষ B এর প্রান্ত-বন্ধনী রিওষ্টেটের (R) এর ভিতর দিয়া যোগ কর। D হইতে E অভিমুখে তারের মধ্য দিয়া সম প্রবাহ চলিতে থাকে। তারটি সমপ্রস্থচ্ছেদের বলিয়া D হইতে E পর্যন্ত সমানভাবে বিভব-হ্রাস (fall) হয় সুতরাং তারের যে কোন দুই বিন্দুর মধ্যস্থিত বিভব-ভেদ ঐ দুই বিন্দুর মধ্যস্থিত দৈর্ঘ্যের সমানুপাতিক হয়। (খ) G গ্যাল্‌ভ্যানোমিটারের এক প্রান্ত D যোজক-স্ক্রুর সহিত এবং অপর প্রান্ত খুব উচ্চ রোধ (প্রায় ৫০০০ ওহম) R এর মধ্য দিয়া টিপিবার চাবির K সহিত যোগ কর। K চাবিকে পোটেনসিওমিটার তারের উপর K বিন্দুতে রাখ। D ও K এর মধ্যস্থ বিভব-ভেদ $V_D - V_K$ হয়। গ্যাল্‌ভ্যানোমিটারের মধ্য দিয়া D হইতে K এর অভিমুখে একটি প্রবাহ চালাইবে। মনে কর গ্যাল্‌ভ্যানোমিটারের চুম্বক বামাবর্তী পথে বিক্ষিপ্ত হয়। (গ) মনে কর B_1 ও B_2 কোষের E.M.F তুলনা করিতে হইবে। মনে কর উহাদের E.M.F যথাক্রমে E_1 ও E_2 ভোল্ট এবং $E_2 > E_1$ B_1 কোষের + মেরু D যোজক-স্ক্রুর সহিত যোগ কর। এখানে মনে কর $V_D - V_K > E_1$। B_1 কোষের জন্য D K বর্তনীতে বিপরীত প্রবাহের উৎপত্তি হইবে। গ্যাল্‌ভ্যানোমিটারের চুম্বক দক্ষিণাবর্তী পথে বিক্ষিপ্ত হইবে। গ্যাল্‌ভ্যানোমিটারের মধ্য দিয়া প্রকৃত প্রবাহের পরিমাণ $(V_D - V_K) - E_1$ এর উপর নির্ভর করে। এখন সোয়ার J কে এদিক-ওদিক সরাইয়া পটেনসিওমিটারের D E তারে এমন কোন এক বিন্দু K_1 বাহির কর যেখানে $V_D - V_{K_1} = E_1$ হয় সুতরাং K_1 বিন্দুতে গ্যাল্‌ভ্যানোমিটারে কোন বিক্ষেপ হয় না। K_1 বিন্দুর দুই পাশে

সোয়ারের চাবি K টিপিলে গ্যালভ্যানোমিটারের বিক্ষেপ পর পর বিপরীত দিকে হইবে। এখন যদি D ও K_1এর দূরত্ব l_1 সেঃ মি হয় তবে $E_1 \propto l_1$.

(ঘ) B_1 কোষ তুলিয়া সেই স্থানে B_2 কোষ রাখ। মনে কর এবার K_2 বিন্দুতে K চাবি টিপিলে নিস্প্রবাহ বিন্দু পাওয়া যায়। মনে কর D হইতে K_2র দূরত্ব$=l_2$ সেঃ মিঃ হয়।

$\therefore \quad E_2 \propto l_2 \qquad\qquad \therefore \quad \frac{E_1}{E_2}=\frac{l_1}{l_2}.$

প্রমাণ কোষের E.M.F সঠিকভাবে জানা থাকে। এখন যদি E_1 কোষ প্রমাণ কোষ হয় তবে E_2 কোষের E.M.Fএর চরম মান পাওয়া যায়।

৭০। রোধের উপর বিভিন্ন শক্তির প্রভাব (Effects of various Agencies on Resistance):

(ক) **উষ্ণতার প্রভাব:** একটি ধাতব তারকে বিভিন্ন উষ্ণতায় রাখিয়া হুইট্‌ষ্টোন ব্রীজ পদ্ধতিতে তারের রোধ মাপ করিলে দেখা যায় শুদ্ধ ধাতুর বেলায় সাধারণতঃ উষ্ণতা-বৃদ্ধির সঙ্গে রোধ বৃদ্ধি হয়। মধ্যম রকম উষ্ণতা-বৃদ্ধির জন্য রোধ ও উষ্ণতার সম্পর্ক নিম্নলিখিত সমীকরণ দ্বারা নিয়ন্ত্রিত হয়:—

$R_t=R_0(1+\alpha t)$; এখানে $R_t = t^\circ c$ উষ্ণতায় রোধ, $R_0=0^\circ c$ উষ্ণতায় রোধ, $t^\circ c=$ উষ্ণতা-বৃদ্ধি, $\alpha=$রোধের উষ্ণতা-গুণাঙ্ক (temperature coefficient of resistance)। এক সেন্টিগ্রেড উষ্ণতা ($0^\circ c$ হইতে $১^\circ c$) বৃদ্ধিতে ধাতুর এক ওহম রোধের-বৃদ্ধিকে রোধের উষ্ণতা-গুণাঙ্ক বলে। প্রত্যেক ধাতুর রোধের উষ্ণতা গুণাঙ্ক বিভিন্ন হয। যখন উষ্ণতা-বৃদ্ধি খুব বেশী হয় তখন $R_t=R_0(1+\alpha t+\beta t^2)$ হয় এখানে α ও β ধ্রুবক।

রোধ থার্মমিটার: বিশুদ্ধ প্লাটিনাম তারের উষ্ণতা-বৃদ্ধির সঙ্গে রোধ-বৃদ্ধি মাপিয়া নির্ভুলভাবে উচ্চ উষ্ণতা (১৭৫০°c পর্যন্ত) ও নিম্ন উষ্ণতা মাপা যায়। একটি অভ্রের কাঠামোর গাযে প্লাটিনামের সরু তার জড়াইয়া কাঠামোকে একটি পোর্সলেন নলে রাখা হয়। এই যন্ত্রকে **প্লাটিনাম রোধ থার্মমিটার** (Platinum Resistance Thermometer) বলে।

হুইট্‌ষ্টোন ব্রীজ পদ্ধতিতে প্রথমে 0°c উষ্ণতায় এই যন্ত্রের রোধ জানা হয় এবং তারপর দ্রব্যের অজ্ঞাত উষ্ণতা t°cতে রোধ Rt জানা হয়। প্লাটিনামের α ও β জানা থাকে সুতরাং $R_t = R_0(1+\alpha t+\beta t^2)$ এই সমীকরণ হইতে t°c জানা যায়।

অধাতুর রোধ সাধারণতঃ উষ্ণতা বৃদ্ধির সঙ্গে কমিয়া যায়। অধিকাংশ ইলেকট্রোলাইট এবং কার্বনের রোধ উষ্ণতা-বৃদ্ধির সঙ্গে কমিয়া যায়। সুতরাং কার্বন-সূত্রের (carbon filament) বাল্‌ব যখন জ্বলে তখন সূত্রের রোধ কমিয়া যায়।

কতক সংকর ধাতুর রোধের উষ্ণতা-গুণাঙ্ক খুব কম থাকে যথা ম্যান্‌গানিন (রোধ-গুণাঙ্ক ·০০০০২ ওহম), ইউরেকা। এই সকল সংকর ধাতু রোধকুণ্ডলীতে ব্যবহৃত হয়।

চরম পরিবাহিতা (Super Conductivity): অধিকাংশ বিশুদ্ধ ধাতুকে চরম উষ্ণতার শূন্য ডিগ্রির (absolute zero) কাছাকাছি শীতল করিলে উহাদের তড়িৎ রোধ সহসা অন্তর্হিত হয় সুতরাং উহাদের ভিতর দিয়া একবার তড়িৎ প্রবাহিত হইলে E.M F সরাইয়া লইলেও অনেকক্ষণ প্রবাহের মাত্রা অক্ষুণ্ণ থাকে। এই ঘটনাকে **চরম পরিবাহিতা** বলে।

একটি সীসার ½" ব্যাসার্ধের একটি বলয় তরল হিলিয়াম পূর্ণ (—২৬৯°c) করিয়া বায়ুপূর্ণ ফ্লাস্কের মধ্যে রাখা হয়। এইরূপ অবস্থায় বলয়ের মধ্যে ২০০ অ্যাম্পিয়ার প্রবাহ পাঠান হয়। প্রায় ছয় ঘণ্টা বাদে দেখা যায় বলয়ে প্রবাহ বর্তমান আছে।

(খ) **চাপের প্রভাব**: বহু ধাতুর রোধ বেশী চাপে কমিয়া যায়। প্রতি বর্গ সেন্টিমিটারে ১২০০০ কিলোগ্রাম চাপে পটাসিয়ামের রোধ শতকরা ৭৩ ভাগ কমিয়া যায়

(গ) **চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রভাব**: কতকগুলি পদার্থের বিশেষতঃ বিস্‌মাথের রোধ চৌম্বক ক্ষেত্রে বৃদ্ধি পায়।

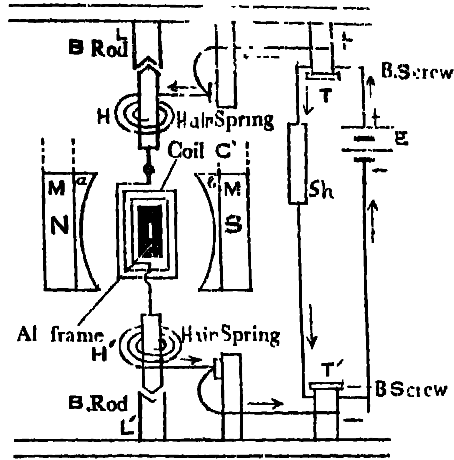
$R_H = R_0 + BH$; এখানে R_0=চৌম্বক ক্ষেত্রশূন্য স্থানে রোধ, R_H চৌম্বক ক্ষেত্রে রোধ, B=ধ্রুবক, H=চৌম্বক ক্ষেত্র।

R_H ও R_0 বাহির করিলে ও জানা থাকিলে H বাহির করা যায়।

(ঘ) **আলোকের প্রভাব :** সেলেনিয়ামের (ধাতু-কল্প-metalloid) উপর আলো পড়িলে উহার রোধ কমিয়া যায়। আলোর তীব্রতা যত বাড়ে এবং আলোক পাতের (exposure) সময় যত বাড়ে রোধ তত কমে। সূর্যালোকে উহার রোধ অর্ধেক হয়। এই গুণের জন্য সেলেনিয়াম Photophone ও Photoelectric কোষে ব্যবহৃত হয়; চোর ধরবার যন্ত্রেও ইহা ব্যবহৃত হয়। Photophone যন্ত্রে কোন বক্তৃতা বহু দূরে পাঠান হয়। Photo-electric কোষ সবাক চিত্রে (Talkie) ব্যবহৃত হয়। এই কোষে একটি বায়ুশূন্য বাল্‌বে দুইটি তড়িৎ দ্বার থাকে। ক্যাথোড একটি ধাতব আংটি এবং অ্যানোডে সোডিয়াম বা পটাসিয়াম লবণের স্তর যুক্ত ধাতব পাত থাকে। যখন এই পাতের উপর আলো পড়ে তখন পাত হইতে প্রচুর ইলেক্‌ট্রোন বহির্গত হইয়া দুই দ্বারের মধ্যবর্তি স্থান পূর্ণ করে। ইহাতে বাল্‌বের ভিতরে রোধ কমিয়া যায়। ব্যাটারি ও স্বর-বর্ধক (loud speaker) যুক্ত বর্তনীর মধ্যে Photo-electric কোষকে রাখা হয়। সুতরাং আলোক রশ্মির তীব্রতা বাড়াইলে বা কমাইলে বর্তনীর প্রবাহ বাড়ে বা কমে, ফলে স্বর-বর্ধকে শব্দের তীব্রতা বাড়ে বা কমে।

৭১। **প্রবাহ মাপক** (Ampere-meters বা Ammeter) **:** সাধারণ গ্যাল্‌ভ্যানোমিটার দ্বারা পরোক্ষভাবে খুব ক্ষীণ ($১০^{-৫}$ হইতে $১০^{-৮}$ অ্যাম্পিয়ার) প্রবাহ মাপা যায়। তীব্র প্রবাহে গ্যাল্‌ভ্যানোমিটারের কুণ্ডলী পুড়িয়া যাইতে পারে। কিন্তু প্রবাহ মাপকে **সাক্ষাৎভাবে** তীব্র বা ক্ষীণ প্রবাহ মাপা যায়। প্রবাহমাপকগুলি বিশেষ ধরণের গ্যাল্‌ভ্যানোমিটার। প্রবাহমাপক নানা-প্রকারের হয়। সচল কুণ্ডলী (Moving coil) প্রবাহমাপক সাধারণতঃ ব্যবহৃত হয়। এই যন্ত্রের দ্বারা নির্ভুলভাবে **সমপ্রবাহ** (direct current) মাপা হয়।

(১) **সচল কুণ্ডলী প্রবাহমাপক : যন্ত্রের বিবরণ :** একটি আয়তক্ষেত্রিক এ্যালুমিনিয়াম ফ্রেমের উপর একটু অন্তরিত মোটা তামার তারের কয়েক পাক কুণ্ডলী (coil) C জড়ান থাকে। কুণ্ডলী তারের দুই প্রান্ত উপরে ও নীচে দুইটি জুয়েল যুক্ত (jewelled) শলাকা H' ও H'র সহিত যুক্ত হয়।



১০৫নং চিত্র—সচল কুণ্ডলী প্রবাহ মাপক

(খ) শলাকা দুইটি আবার দুইটি স্থির পিতলদণ্ড (B. Rod) L ও L'র গর্তের (groove) মধ্যে থাকিয়া ঘুরিতে পারে।

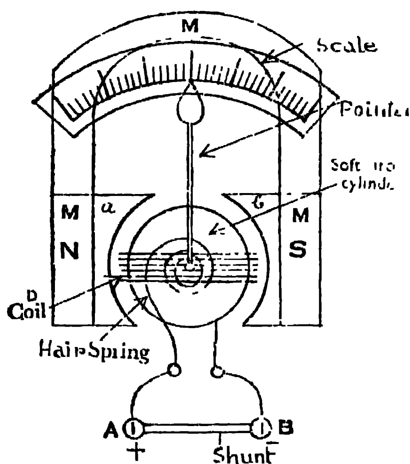
(গ) অচৌম্বক পদার্থ প্রস্তুত দুইটি হাল্কা কেশের স্প্রিংয়ের (hair spring) দুই প্রান্ত কুণ্ডলীর দুই প্রান্তের সহিত যুক্ত থাকে এবং স্প্রিংয়ের আর দুই প্রান্ত যোজক-স্ক্রু T ও T'র সঙ্গে যুক্ত থাকে। প্রবাহ-উৎসর (যথা ব্যাটারি) দুই প্রান্তের সঙ্গে T ও T'এর যোগ থাকে। স্প্রিং দুইটি বিপরীত দিকে জড়ান থাকে। স্প্রীং তিনটি কাজ করে : (i) ইহারা C কুণ্ডলীর গতি নিয়ন্ত্রিত করে। (ii) ইহারা ব্যাটারি হইতে C কুণ্ডলীতে প্রবাহ আনে এবং কুণ্ডলী হইতে প্রবাহ লইয়া যায়। (iii) ইহারা কুণ্ডলার উষ্ণতা প্রভাবকে প্রশমিত করে।

(ঘ) M, M প্রবল অশ্ব-খুরাকৃতি ইস্পাতের চুম্বকের N ও S মেরুর গায়ে চোঙাকৃতি কাচা লোহার টুকরা a ও b লাগান থাকে। চুম্বকের মেরু দুইটি অবতল আকারে কাটা থাকে।

(ঙ) C কুণ্ডলীর মধ্যে C কুণ্ডলীর সহিত সমাক্ষভাবে কাচা লোহার একটি চোঙ (cylinder) I ঝুলান থাকে কিন্তু ইহা C কুণ্ডলীকে স্পর্শ করে না। I.

চোঙসহ C কুণ্ডলীকে N ও S মেরুর মধ্যে এমনভাবে বসান হয় যে উহা অনায়াসে ঘুরিতে পারে। N ও S মেরুর অবতল গঠনের জন্য ও I কাচা লোহার চোঙের জন্য দুই মেরুর মাঝখানে ফাঁকা জায়গায় চৌম্বক ক্ষেত্র radial হয় এবং খুব প্রবল হয়।

(চ) কুণ্ডলীর সঙ্গে হাল্কা এ্যালুমিনিয়াম কাঁটা P যোগ করা থাকে। P (pointer) কাঁটা স্কেল Sএর উপর ঘুরিয়া কুণ্ডলীর বিক্ষেপ দেখায়। একই দিকে তড়িৎ প্রবাহিত করিয়া **প্রমাণ** (standard) **প্রবাহ মাপকের সঙ্গে** তুলনা করিয়া S স্কেল পূর্ব হইতে অ্যাম্পিয়ারে অংশাঙ্কিত করা থাকে। তুলনার দ্বারা অংশাঙ্কনকে **ক্রমাঙ্কন** (Calibration) বলে। (১০৬ নং চিত্র)



১০৬ নং চিত্র—প্রবাহ মাপক

(ছ) স্কেলের 0° ডিগ্রি স্কেলের বাম প্রান্তে থাকে। একটি খুব অল্প রোধের সান্ট sh কুণ্ডলীর সঙ্গে সমান্তরালে যোগ করা থাকে। এই উদ্দেশ্যে ছোট ও মোটা ধাতব তার ব্যবহার করা হয়।

(জ) সমস্ত যন্ত্রটি লোহার আবরণের মধ্যে থাকে যাহাতে অন্য চৌম্বক ক্ষেত্র দ্বারা ইহা প্রভাবিত না হয়।

(ঝ) সান্ট দুইটি কাজ করে: (i) প্রবাহের বেশীর ভাগ অল্প রোধের সান্টের মধ্য দিয়া যায়, সামান্য ভাগ কুণ্ডলীর মধ্য দিয়া যায়। সুতরাং সান্টের সাহায্যে প্রবল প্রবাহ মাপা যায় (ii) কুণ্ডলীর ও সান্টের যুক্ত-রোধ খুব কমিয়া যায়। বর্তনীতে প্রবাহ-মাপক অন্তর্ভুক্ত করিলে প্রবাহের **তীব্রতা** (strength) পরিবর্তিত হওয়া উচিত নয় সুতরাং প্রবাহ-মাপকের কোনই **রোধ**

থাকা উচিত নয় কিন্তু কার্যত তাহা সম্ভব নয়। সেইজন্য সান্ট ব্যবহার করিলে প্রবাহ-মাপকের রোধ খুব কমিয়া যায়

কার্য্য পদ্ধতি: প্রবাহমাপককে **শ্রেণীতে** বর্তনীর সঙ্গে যোগ কর। E ব্যাটারি হইতে প্রবাহ যন্ত্রে T যোজক-স্ক্রুতে প্রবেশ করিয়া দুই ভাগে ভাগ হইয়া যায়। অধিকাংশ প্রবাহ অল্প রোধযুক্ত সান্টের মধ্য দিয়া যায়। সামান্য প্রবাহ C কুণ্ডলীর মধ্য দিয়া যায়, দুই ভাগ পুনরায় T'তে মিলিয়া E ব্যাটারিতে ফিরিয়া যায়। প্রবাহবাহী কুণ্ডলীকে চুম্বকের চৌম্বক ক্ষেত্র আবর্তন করায় সুতরাং P কাঁটা স্কেলে ঘুরিতে থাকে। প্রবাহ $\propto$ বিক্ষেপ। কাঁটার বিক্ষেপের পঠন হইতে সাক্ষাৎভাবে প্রবাহের পরিমাণ পাওয়া যায়। যদিও প্রবাহের সামান্য অংশ কুণ্ডলীর মধ্য দিয়া যায় কিন্তু স্কেলটা এমনভাবে অংশাঙ্কিত থাকে যে উহার পঠন হইতে সমস্ত প্রবাহ মাপা যায়।

দ্রষ্টব্য: (ক) প্রলম্বিত-কুণ্ডলী গ্যাল্ভ্যানোমিটারের দুইটি বন্ধনী-প্রান্ত অল্প রোধের সান্ট দ্বারা যোগ করিলে ইহা সচল কুণ্ডলী প্রবাহ-মাপকে পরিণত হয়। (খ) বিভিন্ন সান্ট ব্যবহার করিয়া প্রবাহ-মাপকের প্রসর (range) বাড়ান বা কমান যায়। (গ) সচলকুণ্ডলী প্রবাহ-মাপক কেবল সমপ্রবাহ (direct current) মাপিবার জন্য ব্যবহৃত হয়।

সান্টের ও কুণ্ডলীর প্রবাহ ও রোধ নিম্নলিখিত সমীকরণ হইতে পাওয়া যায়:—

(i) যদি S = সান্টের রোধ, G = কুণ্ডলীর রোধ, R = যুক্ত-রোধ হয় তবে $R=\frac{S.G}{S+G}$, (ii) যদি i = মোট প্রবাহ, i_g = কুণ্ডলীর মধ্য দিয়া প্রবাহ হয় তবে

$$i_g = i.\frac{S.G}{S+}.$$

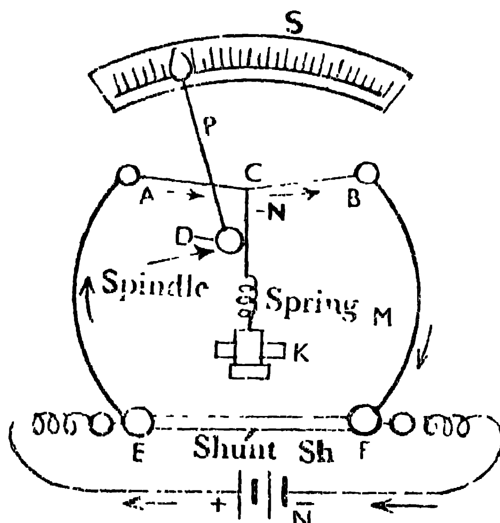
দৃষ্টান্ত: A galvanometer having a resistance of **40** ohms, is provided with a pointer and a scale having **100** divisions. The pointer is deflected through 1 div. the current passing through it is 2×10^{-2} ampere. Find the shunt resistance so that the galvanometer may be converted into an ammeter reading **10** amperes.

যেহেতু স্কেলের ১০০ ভাগ ১০ অ্যাম্পিয়ার-প্রবাহ নির্দেশ করে ∴ ১ ভাগ $\frac{১}{১০}$=·১ অ্যাম্পিয়ার প্রবাহ নির্দেশ করিবে। আমরা জানি কুণ্ডলীর মধ্য দিয়া (২×১০$^{-২}$=)·০২ অ্যাম্পিয়ার প্রবাহ যাইলে কাঁটা ১ ভাগ স্কেলে সরে। যখন মোট প্রবাহ i=·১ অ্যাঃ এবং কুণ্ডলীর প্রবাহ i_g= ·০২ অ্যাঃ তখন সাণ্টের রোধ S কত? $i_g = i\frac{S}{S+G}$ ∴ ·০২ = ·১ × $\frac{S}{(S+G\ 40)}$

∴ S=১ ওহম।

(২) **উষ্ণ তার প্রবাহ-মাপক** (Hot Wire Ammeter) **: নীতি :** যখন কোন তারে তড়িৎ প্রবাহিত হয় তখন তার উষ্ণ ও প্রসারিত হয়। এই প্রসারণ ও প্রবাহমাত্রার সম্পর্ক দ্বারা প্রবাহ-মাত্রা বা বিভব ভেদ মাপা যায়।

যন্ত্র : এই যন্ত্রে AB সরু তারের দুই প্রান্ত সটানভাবে বাঁধা থাকে।



১০৭ নং চিত্র—উষ্ণ তার প্রবাহমাপক

একটি ধাতব স্প্রীং M এর এক প্রান্ত K বিন্দুতে বাঁধা থাকে এবং অপর প্রান্ত N তারের সঙ্গে জোড়া হয়। N তারকে D টাকুর (spindle) চারিপাশে

জড়াইয়া AB তারের মধ্য-বিন্দু Oতে বাঁধা থাকে। টাকুর গায়ে আবদ্ধ P কাটা S স্কেলের উপর ঘুরিতে পারে।

কার্যপদ্ধতি: A ও B বিন্দুকে যন্ত্রের পাটাতলে স্থাপিত E ও F যোজক স্ক্রুর সঙ্গে যোগ কর। AB তারের সহিত সমান্তরালে E ও F এর মধ্যে একটি সান্ট Sh যোগ কর। E ও F যোজক-স্ক্রু N ব্যাটারির দুই প্রান্ত-বন্ধনীর সঙ্গে যোগ কর। AB তারের মধ্য দিয়া খানিকটা প্রবাহ যায়; তার উত্তপ্ত হয়। উষ্ণতা-বৃদ্ধির অনুপাতে তারটি প্রসারিত হয়। M স্প্রীংয়ের ভারে তারটি নীচে নামিয়া যায়, টাকু ঘুরিয়া যায়; ফলে P কাটা স্কেলের উপর ঘোরে। ∴ P কাটার আবর্তন ∝ তারে উদ্ভূত তাপ ∝ তারে প্রবাহ মাত্রার বর্গফল ∴ P কাটার আবর্তন ∝ প্রবাহ-মাত্রার বর্গফল। কার্যিত তারের মধ্য দিয়া জানা প্রবাহ-মাত্রা অতিক্রম করাইয়া স্কেলের অংশাঙ্কন করা থাকে। এই যন্ত্র দিয়া **পরবর্তী** (alternating) প্রবাহ মাপা যায়।

৭২। **বিভব মাপক বা ভোল্টমিটার** (Voltmeter): ভোল্টমিটার দ্বারা বর্তনীর যে কোন দুই বিন্দুর মধ্যে বিভব-ভেদ সাক্ষাৎভাবে মাপা যায়:

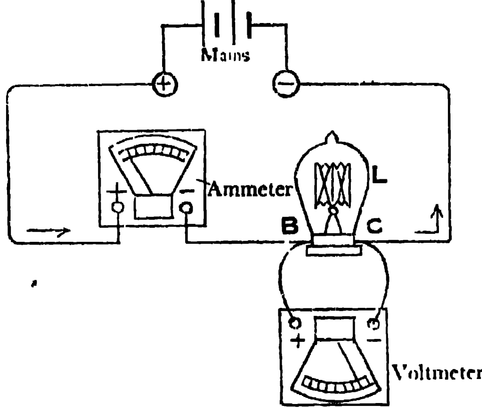
নীতি: প্রবাহ-মাপকে অল্প রোধের সান্টের পরিবর্তে গ্যালভ্যানো-মিটারের সচল কুণ্ডলীর সঙ্গে শ্রেণীতে **খুব উচ্চ রোধ বিশিষ্ট** অপর একটি কুণ্ডলী ব্যবহার করিলে ভোল্টমিটার প্রস্তুত হয়। মনে কর বর্তনীর দুই বিন্দু C ও Bর মধ্যের বিভব-ভেদ বাহির করিতে হইবে। মনে কর মূল প্রবাহ = i অ্যাঃ, C ও Bর মধ্য রোধ = r ওহম। ∴ C ও Bর মধ্যে বিভব-ভেদ = i.r. (ওহম সূত্র)। এখানে C ও Bর মধ্যে ভোল্টমিটার সমান্তরালে বসাইলে ইহার মধ্য দিয়া প্রবাহ ভাগ হইয়া যাইবে। মনে কর ভোল্টমিটারের মধ্য দিয়া i_1 অ্যাঃ প্রবাহ যায় ∴ মূল বর্তনীর মধ্য দিয়া $(i-i_1)$ অ্যাঃ প্রবাহ যাইবে। ∴ C ও Bর মধ্যের বিভব-ভেদ $=(i-i_1)r$. অর্থাৎ ভোল্টমিটার বর্তনীতে যোগ করিলে বিভব-ভেদ কমিয়া যায়। এখন যদি r এর তুলনায় ভোল্টমিটারের রোধকে খুব বেশী করা যায় তবে অতি সামান্য প্রবাহ ভোল্টমিটারের মধ্য দিয়া যাইবে

অর্থাৎ i প্রায় অপরিবর্তিত থাকে $\therefore$ $i.r$ বা বিভব-ভেদ প্রায় অপরিবর্তিত থাকে। এই উদ্দেশ্যে ভোল্টমিটারের সঙ্গে উচ্চ রোধ বিশিষ্ট কুণ্ডলী যোগ করা হয়। আদর্শ ভোল্টমিটার অসীম রোধ বিশিষ্ট হওয়া উচিৎ; উচ্চ রোধ কুণ্ডলী যোগ করার আর একটি উদ্দেশ্য এই যে খুব বেশী বিভবভেদ মাপিতে যাইলে ভোল্টামিটারের কুণ্ডলী নষ্ট হয় না।

যন্ত্র : N ও S দুই মেরুদ্বয়ের সংলগ্ন a ও b চোঙাকৃতি কাচা লোহার মধ্যবর্তি স্থানে আয়তাকার তামার অন্তরিত কুণ্ডলী A একটি শলাকার উপর অবস্থিত হয় যাহাতে ইহা অনায়াসে ঘুরিতে পারে। কুণ্ডলীর তারের দুই প্রান্ত দুইটি স্প্রিংয়ের সহিত যুক্ত থাকে। প্রবাহ-মাপকের কুণ্ডলীর চেয়ে ভোল্টমিটারের কুণ্ডলীতে পাক বেশী থাকে এবং রোধ বেশী থাকে। একটি স্প্রিং + যোজক-স্ক্রু ও অপর স্প্রিং একটি উচ্চ রোধ কুণ্ডলী Rর মধ্য দিয়া − যোজকস্ক্রুর সহিত যুক্ত থাকে। একটি প্রমাণ ভোল্টমিটারের সঙ্গে তুলনা করিয়া স্কেল ভোল্টে **ক্রমাঙ্কন** (Calibration) করা থাকে। সুতরাং স্কেলের পঠন দেখিয়া বিভব-ভেদ সাক্ষাৎভাবে পাওয়া যায়।

দ্রষ্টব্য : (ক) মনে রাখিবে ভোল্টমিটারে বা প্রবাহ-মাপকে স্কেলে 0° দাগ এক প্রান্তে থাকে এবং কাঁটা একই দিকে বিক্ষিপ্ত হয়। সুতরাং যন্ত্রে প্রবাহ একই অভিমুখে পাঠান হয় সেইজন্য যন্ত্র যোগ করিতে হইলে + চিহ্নিত যোজক-স্ক্রু সর্বদা ব্যাটারির উচ্চ বিভব পাতের সঙ্গে যোগ করিতে হয় যাহাতে প্রবাহ + যোজক-স্ক্রুতে যন্ত্রে প্রবেশ করে। (খ) ভোল্টমিটারে শ্রেণী রোধ R পরিবর্তন করিয়া কিংবা বর্তনীতে শ্রেণীতে অতিরিক্ত রোধ যোগ করিয়া একই স্কেলের সর্বোচ্চ পঠনের চেয়েও বেশী বিভব-ভেদ মাপা যায়। মনে কর কোন ভোল্টমিটারে ৫ ভোল্ট পর্যন্ত বিভব-ভেদ মাপা যায়। এই যন্ত্রে ১০ ভোল্ট পর্যন্ত বিভব-ভেদ মাপিতে হইলে যন্ত্রের রোধের সমান রোধ শ্রেণীতে যোগ করিতে হয়। কারণ $\frac{V}{V'}=\frac{৫}{১০}=\frac{r}{(r+r')}$। এখানে V = প্রাথমিক বিভক্ত ভেদ V′ = শেষ বিভব-ভেদ, r = যন্ত্রের রোধ, r′ = নূতন রোধ $\therefore r=r'$

এই যন্ত্রগুলিকে স্কেলের সর্বোচ্চ মানের অপেক্ষা বেশী প্রবাহ বা বিভব ভেদ মাপিবার জন্য ব্যবহার করিবে না।



১০৮ নং চিত্র ভোল্টমিটার ও প্রবাহ মাপকের বর্তনী

৭৩। **প্রবাহ-মাপক ও ভোল্টমিটারের তুলনা :** (ক) প্রবাহমাপক **নিম্ন রোধ** গ্যাল্‌ভ্যানোমিটার, ভোল্টমিটার **উচ্চ রোধ** গ্যাল্‌ভ্যানোমিটার : (খ) প্রবাহ-মাপককে **শ্রেণীতে** বর্তনীতে যোগ করিতে হয় এবং ভোল্ট-মিটারকে যে দুই বিন্দুর বিভব-ভেদ মাপা দরকার সেই দুই বিন্দুর মধ্যে বর্তনীর সহিত **সমান্তরালে** যোগ করিতে হয়। ১০৮ নং চিত্রে A প্রবাহ-মাপক বর্তনীর প্রবাহ মাপিতেছে এবং V ভোল্টমিটার B ও C বিন্দুর বিভব-ভেদ মাপিতেছে। (গ) গ্যাল্‌ভ্যানোমিটারকে প্রবাহ-মাপকে বা ভোল্টমিটারে সহজেই বদলান যায়।

৭৪। **ভোল্টমিটার ও প্রবাহ-মাপক দ্বারা রোধ-মাপ :** বিদ্যুৎ বাতির সূতা (filament) গরম থাকিলে B ও C'র মধ্যে বাতি রাখিয়া প্রবল প্রবাহ পাঠাও যাহাতে বাতির সূতা ভাস্বর (incandescent) হয় এবং আলো দেয়। এখন ভোল্টমিটার পঠন $=V$ ভোঃ, প্রবাহ-মাপক পঠন $=A$ অ্যাঃ হয় তবে $R=V/A$ ওহম।

প্রশ্ন

1. Define Volt, Ohm and Ampere. (C. U. 1926)

2 How does the current delivered by a cell differ from that delivered by a static machine ? (C. U. 1936)

3. Define the absolute units of current, potential difference and resistance, and obtain the practical units from them. Name the instrument by which each is measured and describe any of them. (C. U. 1934)

4. State Ohm's law. Show how you will verify it ? (C U 1910, '11, '18, '20, '25, '36, '39 , Pat 1918, '19, '20, '25, '27, '28, '35, '43 ; Dac 1932 , All 1923, '25, '26. '28, '38, '46).

5, An electric circuit contains a tangent galvanometer which gives a deflection of 15°. When, however, an additional resistance of 5 ohms is put in the circuit, this deflection is reduced to 30° Calculate the total resistance of the circuit in the first instance. (Pat 1926)

6. Explain what you mean by the term 'resistance of an electric circuit', How would you compare two resistances in the laboratory ? The terminals of a battery of E M F 4 volts and resistance 3 ohms are connected by a wire of resistance 9 ohms. Find the current strength (C U. 1926)

7 The E M F of a battery is 18 volts and its resistance is 3 ohms. The P.D. between its poles when they are joined by a wire A is 15 volts and it falls to 12 volts when A is replaced by another wire B Find the resistances of A and B (Pat 1948)

8. Explain the terms 'in series' and 'in parallel' as applied to a voltaic battery giving diagrams. (C U. 1930)

9. State, in general terms, on what the E M F of a cell depends (C. U. 1919)

10. A number of cells are given to you , how would you arrange them in order to supply the largest amount of current in a circuit of known external resistance ? (C U 1926)

11. Prove the law of parallel resistances. How would you verify this experimentally ? (Pat. 1947)

Ten cells, each of e m f 1 5 volts and internal resistance 0 3 ohm are joined in series to form a battery. The terminals of the battery are joined by resistances of 20 ohms and 30 ohms in parallel Find the current passing through each resistance [Ans. C_{20}=0 6 amp ; C_{30}=0 4 amp]

12. A galvanometer of 40 ohms resistance is shunted by a shunt of 5 ohms. Find the combined resistance of the shunt and the galvanometer.

Find also the current which flows through the galvanometer when a battery of 20 volts and an external resistance of 10 ohms are connected in series.

(Dac. 1922)

(Ans. $R = 40$ ohms ; $Cg = \frac{2}{81}$ amp.)

13. If a shunt is to be applied to a galvanometer of resistance 20 ohms so that only 1% of the total current passess through the galvanometer, what must be the resistance of the shunt ? (Pat. 1930)

14. Explain the use of shunts. What is the resistance of a shunt which when joined to a galvanometer of resistance 'g' will cause 1/n of the total current to flow through the galvenometer ? (Pat. 1944)

(Ans. $g/(n-1)$ ohm.)

15. Give the theory of the Wheatstone's bridge method of measuring resistances. (C. U. 1909, '12, '26 , Pat. 1918, '20, '34 ; All '29).

Explain how you will use it to find the specific resistance of a wire.

(All. 1929, '45 , cf '22, '26 ; Pat. '40)

16. Discuss the theory and describe the practical arrangement of comparing two resistances by a Metre-bridge.

(C. U. 1927, '15 , All. '21, '25 ; Dac. 1932)

17. Describe the construction of the Post-Office Box and explain the principle upon which its working depends. Draw a diagram, showing the connections in an experiment with it. (Pat. 1929 ; cf All. 1916 , C. U. 1933)

18. What is an ammeter ? How is it used ? How does it differ from a voltmeter ? (All. 1921 , cf. '29, '44).

19. Give a brief account of (a) a voltmeter, (b) an ammeter.

(C. U. 1932 ; Pat. '44)

20. How do you convert a 100-ohm galvanometer, reading upto 120 micro-amperes, into a voltmeter reading upto 2.4 volts ? (L. U.)

(Ans. Adding resistance = 19,9000 ohms)

প্রবাহের তাপীয় ফল (Thermal Effects of Currents)

৭৫। **তড়িৎ ও তাপ শক্তি (Electricity and Heat Energy) :** কোন তারের মধ্য দিয়া তড়িৎ প্রবাহিত হইলে তড়িৎ শক্তি অন্য শক্তিতে রূপান্তরিত হয়, (১ম ভাগ ৯০নং অনুচ্ছেদ) যথা :—তড়িৎ প্রবাহ দ্বারা মটর (motor) চালনায় তড়িৎ শক্তি যান্ত্রিক শক্তিতে রূপান্তরিত হয়। তড়িৎ

প্রবাহ দ্বারা ধাতব লবণের জলে দ্রবণের বিশ্লেষণে (electrolysis) তড়িৎ শক্তি রাসায়নিক শক্তিতে রূপান্তরিত হয়। বর্তনীব মধ্য দিয়া তড়িৎ যাইবার সময় কিছু তড়িৎ শক্তি বর্তনীর রোধকে প্রতিহত করিবার জন্য ব্যয়িত হয়। যেহেতু কোন শক্তি নষ্ট হয় না সেইজন্য এই ব্যয়িত শক্তি বর্তনীর বিভিন্ন অংশে রোধের সমানুপাতে তাপ শক্তিতে রূপান্তরিত হয়। যান্ত্রিক ঘর্ষণ তড়িৎ রোধের সঙ্গে তুলনীয়।

৭৬। **ইলেক্ট্রোন বাদ ও তাপোৎপত্তি:** আমরা পূর্বে দেখিয়াছি ব্যাহ্যিক তড়িচ্চালক বলের প্রয়োগে কোন তাবের মধ্য দিয়া তড়িৎ প্রবাহিত হইলে তাবের ইলেক্ট্রোনগুলি পারমাণবিক (ফাঁকের ১ম ভাগ ৯০অঃ) মধ্যে অতি দ্রুত বেগে ছুটিতে থাকে এবং পারমাণবিক নিউক্লিয়াসে ও অন্য ইলেক্ট্রোনের গায়ে ধাক্কা দেয়। এই ধাক্কাব ফলে পরমাণুগুলি এদিক-ওদিক কাঁপিতে থাকে। অর্থাৎ পরমাণুর গতীয শক্তি (Kinetic Energy) বাড়িয়া যায় সুতরাং তারের তাপ তথা উষ্ণতা বৃদ্ধি পায়।

৭৭। **উৎপন্ন তাপের পরিমাণ:** (ক) তাপের পবিমাণ রোধের ও প্রবাহের মাত্রার উপর নির্ভব করে। বোধ ও প্রবাহ যত বাড়ে পবিবাহীব তাপও তত বাড়ে। এই তত্ত্ব নিম্নলিখিত পরীক্ষা দ্বারা মোটামুটি নির্ণয় করা যায়:—

পরীক্ষা: (ক) একই দৈর্ঘ্যেব একখণ্ড সরু একখণ্ড মোটা প্লাটিনাম তার শ্রেণীতে যোগ কর. একটি বুনসেন কোষ হইতে তারে তড়িৎ প্রবাহিত করাও। সরু তার বেশী উত্তপ্ত হয়।

আমরা জানি রোধ ∝ প্রস্থচ্ছেদ ∴ একই দৈর্ঘ্যেব মোটা তার অপেক্ষা সরু তারে বেশী রোধ হয় সুতরাং সরু তারে বেশী তাপ উৎপন্ন হয়।

পরীক্ষা (খ): একই দৈর্ঘ্যের ও একই ব্যাসের কতকগুলি প্লাটিনাম ও রূপার তার পর্যায়ক্রমে পর পর যোগ করিয়া একটি শিকল প্রস্তুত কর। শিকলের মধ্য দিয়া প্রবল প্রবাহ অতিক্রম করাও। প্লাটিনাম তারগুলি শুভ্র তপ্ত (white hot) হইবে, রূপার তারগুলি অপেক্ষাকৃত শীতল থাকিবে।

প্লাটিনামের রোধাঙ্ক রূপার রোধাঙ্কের চেয়ে ছয়গুণ বেশী। সুতরাং প্লাটিনাম তারের রোধ রূপার তারের রোধের চেয়ে অনেক বেশী। আবার প্লাটিনামের তাপ-গ্রাহিতা (heat capacity) রূপার তাপ-গ্রাহিতার অর্ধেক। সুতরাং প্লাটিনাম তারের উষ্ণতা-বৃদ্ধি রূপার তারের প্রায় ১২ গুণ।

পরীক্ষা (গ) : পরীক্ষায় একটি কোষের পরিবর্তে দুইটি বা তিনটি কোষ যোগ কর। যত প্রবাহ বাড়ে তত তাপ বাড়ে, তত তারগুলি উষ্ণ হয়।

পরীক্ষা (ঘ): একটি দীর্ঘ প্লাটিনাম তারের মধ্য দিয়া এমনভাবে তড়িৎ প্রবাহিত কর যাহাতে তারটি ক্ষীণভাবে আলোক দেয়। তারের অর্ধেকটা শীতল জলে ডুবাইয়া ঠাণ্ডা কর। ইহাতে ঠাণ্ডা তারের রোধ কমিয়া যায় সুতরাং ওহম সূত্রানুসারে বর্তনীর প্রবাহ বাড়িয়া যায়। কাজেই তারের অবশিষ্ট অংশের উত্তাপ বাড়িয়া যায়। ইহা উজ্জ্বলভাবে জ্বলিতে থাকে।

৭৮। তড়িৎ-শক্তির তাপীয় তুল্যাঙ্ক (Heat equivalent of Electrical Energy): এই তুল্যাঙ্ক দুইটি ধাপে বাহির করা হয়: (ক) তাপের বল তুল্যাঙ্ক বাহির করা হয়। (খ) তড়িতের বল তুল্যাঙ্ক বাহির করা হয়। তৎপরে এই দুই তুল্যাঙ্ককে সমীকরণ (equate) করা হয়।

(ক) তাপের বল তুল্যাঙ্ক: আমরা জানি (১ম ভাগ ১৩৪ পৃঃ) যদি W আর্গ কার্য করিতে H ক্যালোরি তাপ উৎপন্ন হয় তবে $W = J.H.$ J = তাপের বল তুল্যাঙ্ক বা জুল তুল্যাঙ্ক = ৪.২×১০^{৭} আর্গ প্রতি ক্যালোরি। অর্থাৎ এক ক্যালোরি তাপ হইতে ৪.২×১০^{৭} আর্গ কার্য পাওয়া যায়।

$$\therefore \quad H = \frac{W}{J.} \cdots (ক)$$

(খ) তড়িতের বল তুল্যাঙ্ক: আমরা পূর্বে দেখিয়াছি যে আধান উচ্চ বিভব হইতে নিম্ন বিভবের দিকে আসিলে কার্য করে। পরিবাহীর দুই বিন্দুর মধ্যে বিভব-ভেদ একক হইলে যদি একক আধান উচ্চ বিভব হইতে নিম্ন বিভবে আসে তবে **একক কার্য** (এক আর্গ) সম্পাদিত হয়। যদি কোন পরিবাহীর দুই প্রান্তের মধ্যে বিভব-ভেদ = E ভোল্ট হয়, পরিবাহীর রোধ

= r ওহম হয়, Q পরিমাণ তড়িৎ t সেকেণ্ড প্রবাহিত হয় এবং i অ্যাঃ = প্রবাহ মাত্রা হয় (এখানে Q, i, E র মাপ C. G. S. e. m. u এ প্রণালীতে প্রকাশিত হইয়াছে) তবে

কার্য W = E Q আর্গ = E.i.t আর্গ (কারণ Q = i t)

= i^2rt আর্গ (কারণ E = i.r) ...(খ)

এখানে যদি পরিবাহীতে কোন যান্ত্রিক কাজ না হয় তবে এই কার্য তাপ-রূপে প্রকাশ পায়।

∴ (ক) ও (খ) কে সমীকরণ করিলে $H = \frac{i^2r.t}{J}$ ক্যালোরি।

যদি i ও r কে কার্যকরী এককে প্রকাশ করা যায় তবে

i অ্যাম্পিয়ার = $i \times ১০^{-১}$ C. G. S একক

r ওহম = $r \times ১০^{৯}$ C. G. S একক

∴ $H = \frac{(i \times ১০^{-১})^২ \times (r \times ১০^৯) \times t}{৪.২ \times ১০^৭}$ ক্যাঃ = $\frac{i^2rt.}{৪২}$ ক্যাঃ

= **২৪ i^2rt** ক্যালোরি।

এই সূত্রকে **জুলের সূত্র** (Joule's Law) বলে।

এই সূত্রটি কথায় এইরূপে প্রকাশিত হয়ঃ—

r রোধ বিশিষ্ট কোন পরিবাহীতে তড়িৎ t সময় প্রবাহিত হইলে উদ্ভূত তাপের পরিমাণ H—

(ক) প্রবাহ মাত্রার বর্গফলের সমানুপাতিক হয় যখন r ও t ধ্রুবক থাকে ($H \propto i^2$)।

(খ) রোধের সমানুপাতিক হয় যখন i ও t ধ্রুবক থাকে ($H \propto r$)।

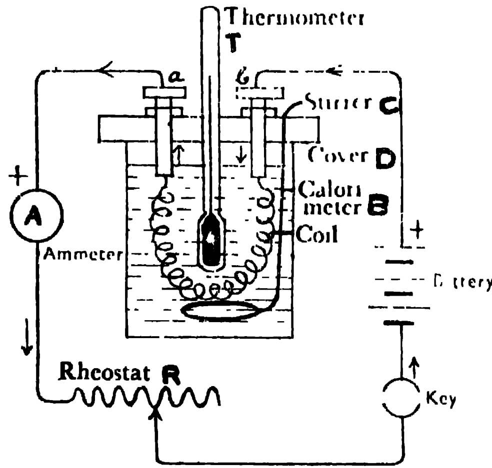
(গ) সময়ের সহিত সমানুপাতিক হয় যখন r ও i ধ্রুবক থাকে ($H \propto t$.)

সূত্রের প্রথম (ক) অংশে দেখা যায় $H \propto i^2$ ∴ পরিবাহীর মধ্যে তড়িৎ যে কোন অভিমুখে প্রবাহিত হউক প্রত্যেক ক্ষেত্রে একই পরিমাণ তাপ উদ্ভূত হয়। সুতরাং এই প্রবাহের ধর্মের দ্বারা কতকগুলি যন্ত্রের সাহায্যে পরিবর্তি প্রবাহ (alternating current) ও সমপ্রবাহ (direct current)

মাপা যায়। তড়িৎ প্রবাহের চৌম্বক ও রাসায়নিক ধর্মের বেলায় প্রবাহের অভিমুখ বদলাইলে এই দুই ধর্মের অভিমুখ বদলাইয়া যায়। কিন্তু প্রবাহের অভিমুখ বদলাইলে উদ্ভূত তাপের পরিমাণ একই থাকে।

৭৯। জুলের সূত্রের সত্যতা নির্ণয় (Verification of Joule's Law):

(ক) $H \propto i^2$; **যন্ত্র**: একটি জানা ভরের তামার ক্যালোমিটার B লও। ক্যালোমিটারের মধ্যে খানিকটা তাপিণ তেল (ইহার আপেক্ষিক·



১০৯নং চিত্র

তাপ কম) লও। ইহার ভর বাহির কর। ক্যালোরিমিটারের উপর ইবোনাইটের ঢাকনা D (cover) রাখ। ঢাকনার উপর চারিটি ছিদ্র দিয়া সুবেদী থার্মমিটার T, তামার আলোড়ক C, দুইটি যোজক-স্ক্রু a ও b ক্যালোরিমিটারের ভিতর যায়। a ও b যোজক-স্ক্রুর সহিত একটি r রোধ বিশিষ্ট ইউরেকা তারের কুণ্ডলী (coil) E'র দুই প্রান্ত যোগ করা আছে। পরীক্ষার সব সময়েই এই কুণ্ডলীর একই অংশ তেলের মধ্যে ডুবাইয়া রাখিবে, ইহাতে r ধ্রুবক থাকে। b যোজক স্ক্রুর সহিত ব্যাটারি + প্রান্ত এবং a যোজক-স্ক্রুর সহিত প্রবাহ

মাপক A, রিওষ্টেট R ও চাবি Kএর মধ্য-দিয়া ব্যাটারির —প্রান্তকে যুক্ত করা হয়। তার্পিণ তেলের প্রাথমিক উষ্ণতা লও। নির্দিষ্ট সময় (মনে কর ১০ মিনিট ; ইহাতে t ধ্রুবক থাকে) প্রবাহ অতিক্রম করাও এবং আলোড়ক c দ্বারা তেল নাড়িতে থাক। প্রবাহ-মাপক হইতে প্রবাহ-মাত্রা বাহির কর। তেলের শেষ উষ্ণতা বাহির কর।

এইবার রিওষ্টেটের রোধ পরিবর্তন করিয়া প্রবাহ-মাত্রা বৃদ্ধি করিয়া পুনরায় ১০ মিনিট প্রবাহ অতিক্রম করাও এবং আলোড়ক দিয়া তেল নাড়িয়া তেলের প্রাথমিক ও শেষ উষ্ণতা লও। মনে কর i ও i_1 প্রবাহ মাত্রার জন্য উষ্ণতা-বৃদ্ধি যথাক্রমে $T^\circ c$ ও $T_1{}^\circ c$

গণনায় দেখা যায় $\frac{T}{T_1} = \frac{i^2}{i_1{}^2}$ $\therefore$ $T \propto i^2$

এখানে দুইক্ষেত্রে ক্যালোরিমিটার ও তেলের ভর একই থাকে সুতরাং প্রবাহের দরুণ উদ্ভূত তাপ $H \propto T$

$$\therefore \frac{H}{H_1} = \frac{T}{T_1} = \frac{i^2}{i_1{}^2}$$

$\therefore$ $H \propto i^2$ এখানে সময় = t ও রোধ = r।

ক্যালোরিমিটার হইতে তাপের বিকিরণ, পরিবহন প্রভৃতির জন্য কিছু তাপ নষ্ট হয় সেইজন্য H ঠিক i^2এর সঙ্গে সমানুপাতিক হয় না। ক্যালোমিটারের তাপ ক্ষয় নিবারণের যে নিয়ম ২য়ভাগের ২৩৭ পৃষ্ঠায় দেওয়া হইয়াছে তাহা এখানেও প্রযোজ্য।

(খ) $H \propto R$: r ও r_1 রোধ বিশিষ্ট তারের দুই কুণ্ডলী দুইটি পৃথক অথচ একই তাপগ্রাহিতা (heat capacity) বিশিষ্ট ক্যালোরিমিটারের ভিতরে সমান ভরের তার্পিণ তেলের মধ্যে রাখ। ইহাদিগকে শ্রেণীতে ব্যাটারি, রিওষ্টেট, চাবি ও প্রবাহ মাপকের সঙ্গে যোগ কর। নির্দিষ্ট সময় প্রবাহ অতিক্রম করাও। ইহাতে t ধ্রুবক থাকে। r ও r_1 কুণ্ডলী শ্রেণীতে যুক্ত হয় সুতরাং একই প্রবাহ i দুই রোধের মধ্য দিয়া যায়। ইহাতে i ধ্রুবক

থাকে। এখন দুইটি ক্যালোরিমিটারের উষ্ণতা-বৃদ্ধি দেখ। মনে কর উহা $T^{\circ}c$ ও $T_1{}^{\circ}c$।

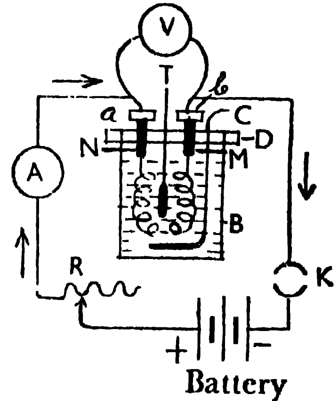
গণনায় দেখা যায় $\frac{T}{T_1}=\frac{r}{r_1}$ $\therefore$ $T \propto r$.

(ক) পরীক্ষার মত $H \propto T$ $\therefore$ $H \propto r$.

(গ) (ক) পরীক্ষার মত যন্ত্রে r ও i-কে ধ্রুবক রাখিয়া বর্তনীর মধ্য দিয়া প্রবাহ অতিক্রম করাও এবং নির্দিষ্ট সময় অন্তর উষ্ণতা-বৃদ্ধি মাপ কর। মনে কর t সময়ে $T^{\circ}c$ উষ্ণতা-বৃদ্ধি এবং t_1 সময়ে $T_1{}^{\circ}c$ উষ্ণতা-বৃদ্ধি হয়।

$$\therefore \frac{t}{t_1}=\frac{T}{T_1}=\frac{H}{H_1} \qquad H \propto t.$$

৮০। **তড়িৎ-প্রবাহের সাহায্যে জুলের তুল্যাঙ্ক নির্ণয়** (Electrical Determination of J): **যন্ত্র:** ইহা ৭৯ নং অনুচ্ছেদের যন্ত্রের মত; একটি B তামার পাতলা ক্যালোরিমিটারের D ঢাকনায় চারিটি ছিদ্র আছে। দুইটি ছিদ্রের মধ্য দিয়া দুইটি মোটা তামার তার N ও M গিয়াছে। N ও M তারের নীচের প্রান্তে জার্মান সিল্‌ভার বা প্লাটিনাম তারের কুণ্ডলী ঝাল দেওয়া থাকে এবং ইহাদের উপর প্রান্তদ্বয় a ও b যোজক-স্ক্রুর সহিত যুক্ত থাকে। মধ্যের ছিদ্র দিয়া T থার্মমিটার গিয়াছে এবং চতুর্থ ছিদ্র দিয়া আলোড়ক C গিয়াছে।



১১০ নং চিত্র

আলোড়ক সুদ্ধ ক্যালোরিমিটার ওজন কর। ক্যালোরিমিটারে তার্পিণ তেল ঢাল যাহাতে কুণ্ডলী সম্পূর্ণরূপে তেলে ডুবিয়া থাকে। পুনরায় তেল সুদ্ধ ক্যালোরিমিটার ওজন কর। দুই ওজনের পার্থক্য=তেলের ওজন। ব্যাটারির + প্রান্ত-বন্ধনীকে রিওষ্টেট R,

প্রবাহমাপক A এর মধ্য দিয়া শ্রেণীতে a যোজক-স্ক্রুর সঙ্গে এবং —প্রান্ত-বন্ধনী K চাবির মধ্য দিয়া b যোজক-স্ক্রুর সঙ্গে যুক্ত কর।

a ও b যোজক স্ক্রুর সঙ্গে সমান্তরালে V ভোল্টমিটার যোগ কর। ষ্টপ ঘড়ির সাহায্যে প্রবাহের সময় দেখ। রিওষ্টেট দ্বারা প্রবাহমাত্রা নির্দিষ্ট মানে রাখ। তার্পিণ তেলকে আলোডক দিয়া নাড়।

মনে কর কুণ্ডলীর মধ্য দিয়া প্রবাহমাত্রা $=i$ অ্যাম্পিয়ার (প্রবাহমাপকের পাঠ হইতে পাওয়া যায়)

কুণ্ডলীর দুই প্রান্তে বিভব-ভেদ $=E$ ভোল্ট (ভোল্টমিটারের পাঠ হইতে)

প্রবাহের সময় $=t$ সেকেণ্ড

ক্যালোরিমিটার ও আলোড়কের ভর $=m_1$ গ্রাম

ক্যালোরিমিটারের উপাদানের আঃ তাপ $=S_1$

তার্পিণ তেলের ভর $=m_2$ গ্রাম

তার্পিণ তেলের আপেক্ষিক তাপ $=S_2$

তার্পিণ তেলের প্রাথমিক উষ্ণতা $=\theta_1{}^\circ C$

তার্পিণ তেলের শেষ উষ্ণতা $=\theta_2{}^\circ C$

∴ তার্পিণ তেল ও ক্যালোরিমিটার দ্বারা শোষিত তাপ H

$=(m_2S_2+m_1S_1)(\theta_2{}^\circ-\theta_1{}^\circ)$ ক্যালোরিঃ

কুণ্ডলী কর্তৃক প্রদত্ত তাপ $H=\frac{W}{J}=\frac{E.i\,t\times ১০^৭}{J}$ ক্যালোরি

$$\therefore\ J=\frac{E.i.t\times ১০^৭}{(m_2s_2+m_1s_1)(\theta_2-\theta_1)}$$ আর্গ/ক্যালোরি

যখন কুণ্ডলী তারের রোধ r জানা থাকে তখন নিম্নলিখিত সমীকরণ হইতে J এর মান পাওয়া যায়

$$J=\frac{i^2rt\times ১০^৭}{(m_2s_2+m_1s_1)(\theta_2-\theta_1)}$$ আর্গ/ক্যালোরি।

তাপের বিকীরণ ও পরিবহনের জন্য কিছু তাপ নষ্ট হয়।

অঙ্ক : 1. Calculate the amount of heat developed when a current of 20 amps. is sent through a resistance of 50 ohms for 30 minutes. (D. U. 1927).

$$\text{উদ্ভূত তাপ} = \frac{i^2.r.t}{J} \text{ ক্যাঃ} = \frac{২০^২ \times ৫০ \times ৩০ \times ৬০}{৪.২}$$

$$= .২৪ \times ৩৬ \times ১০^৬ = ৮৬৪ \times ১০^৪ \text{ ক্যালোরি}$$

2. A conductor carrying a current divides into two branches whose resistances are in the ratio of 4 to 5. Compare the amounts of heat generated in the branches. (C. U. 1931).

মনে কর মূল প্রবাহ i সমান্তরালে যুক্ত ৪r ও ৫r রোধ বরাবর $i_১$ ও $i_২$ প্রবাহে বিভক্ত হয়।

$$\therefore \quad i_১ = i \times \frac{৫r}{৪r + ৫r} = \frac{৫}{৯} i \; ; \; i_২ = \frac{৪}{৯} i$$

মনে কর দুইটি রোধে প্রত্যেক সেকেণ্ডে $H_১$ ও $H_২$ ক্যালোরি তাপ উদ্ভূত হয়।

$$\therefore \quad H_১ = \frac{i_১^২ \times ৪r}{৪.২} \text{ এবং } H_২ = \frac{i_২^২ \times ৫r}{৪.২}$$

$$\frac{H_১}{H_২} = \left(\frac{i_১}{i_২}\right)^২ \times \frac{৪}{৫} = \left(\frac{৫}{৪}\right)^২ \times \frac{৪}{৫} = \frac{৫}{৪}.$$

3. A 10 ohm coil is used to heat 1000 gms. of water from 25°C to 75°C in 10 minutes. How much current must be used? (C. U. 1933).

$$\text{জুলের সূত্র হইতে } H = \frac{i^২ r.t}{৪.২}$$

$$\therefore \quad ১০০০(৭৫ - ২৫) = \frac{i^২ \times ১০ \times ১০ \times ৬০}{৪.২}$$

$$\therefore \quad i^২ = \frac{৪\text{'}২ \times ১০০০ \times ৫০}{১০০ \times ৬০} = ৩৫$$

$$\therefore \quad i = \sqrt{৩৫} = ৫\text{'}৯২ \text{ অ্যাঃ}$$

৮১। প্রবাহের দরুণ তারের উষ্ণতা-বৃদ্ধি (Rise of temperature in a wire due to the passage of current): তারের মধ্য দিয়া তড়িৎ প্রবাহিত হইলে তার উত্তপ্ত হয় সুতরাং তারের উষ্ণতা বাড়ে কিন্তু সঙ্গে সঙ্গে তার হইতে চারিপাশে তাপ বিকীর্ণ হয়। তাপের বিকীরণের হার পার্শ্বস্থ বায়ু ও তারের উষ্ণতার গড় পার্থক্য এবং বিকীরণ তলের ক্ষেত্রফলের উপর নির্ভর করে (১ম ভাগ ১৩০ অনুচ্ছেদ ও ৩৩২ পৃষ্ঠা) যদি একই প্রবাহ একই রোধ বিশিষ্ট একটি মোটা দীর্ঘ আর একটি সরু ছোট তারের মধ্য দিয়া প্রবাহিত হয় তবে শেষ উষ্ণতায় দুই তারে একই হারে তাপ উদ্ভূত হইলে এবং একই হারে তাপ বিকীর্ণ হইলেও মোটা তারের উষ্ণতা কম হয় কারণ মোটা তারের ক্ষেত্রফল বেশী বলিয়া বিকীরণের হার সমান থাকার জন্য উহার উষ্ণতা কম হওয়া দরকার। সুতরাং একই প্রবাহের জন্য মোটা তার অপেক্ষা সরু তার বেশী উত্তপ্ত হয়।

৮২। তড়িৎ-শক্তি এবং ক্ষমতা (Electric Energy and Power)

শক্তিঃ Q পরিমাণ তড়িৎ E বিভব-ভেদে কোন পরিবাহীর মধ্য দিয়া প্রবাহিত হইলে সম্পাদিত কার্যের (বা উৎপন্ন শক্তির) পরিমাণ $W = Q \times E$ = আধান × বিভব-ভেদ। যদি Q ও E এর মাত্রা C. G. S এককে প্রকাশিত হয় তবে কার্য W আর্গ এককে প্রকাশিত হইবে। যদি Q ও E কার্যকরী এককে অর্থাৎ Q কুলম্বে ও E ভোল্টে প্রকাশিত হয় তবে কার্য W কার্যকরী একক জুলে প্রকাশিত হইবে। যদি ১ কুলম্ব আধান ১ ভোল্ট বিভব-ভেদের মধ্য দিয়া প্রবাহিত হয় তবে ১ জুল (Joule) কার্য সম্পাদিত হয়।

$\therefore$ ১ জুল = ১ কুলম্ব × ১ ভোল্ট = $১ \times ১০^{-১} \times ১০^{৮} = ১০^{৭}$ C. G. S একক কার্য = $১০^{৭}$ আর্গ.

ক্ষমতা : কার্য করিবার হারকে **ক্ষমতা** বলে (১ম ভাগ ৯১ পৃঃ)।
যদি Q পরিমাণ তড়িৎ t সেকেণ্ড প্রবাহিত হয় তবে একক সময়ে সম্পাদিত

শক্তি বা কার্য = ক্ষমতা $P = \frac{\text{মোট কার্য } W}{\text{মোট সময় } t}$ = প্রতি সেকেণ্ডের কার্য

$$\therefore \text{ ক্ষমতা } P = \frac{Q \times E}{t} = i.E \left(\text{কারণ } i = \frac{Q}{t}\right)$$

ক্ষমতার একক : (ক) **ওয়াট** (Watt) : যদি E ও i যথাক্রমে ভোল্টে ও অ্যাম্পিয়ারে প্রকাশিত হয় তবে ক্ষমতা = E.i. জুল-সেকেণ্ড। ক্ষমতার এই একককে **ওয়াট** বলে। অর্থাৎ এক অ্যাম্পিয়ার প্রবাহমাত্রা এক ভোল্ট বিভব-ভেদের মধ্য দিয়া যায় তখন এক ওয়াট ক্ষমতা পাওয়া যায়।

$\therefore$ ১ ওয়াট = ১ ভোল্ট × ১ অ্যাম্পিয়ার = $১০^{-১}$ = $১০^{৮}$ আর্গ = $১০^{৭}$ আর্গ প্রতি সেকেণ্ডে = ১ জুল-সেকেণ্ড।

(খ) **কিলোওয়াট** : তড়িৎ যন্ত্রের ক্ষমতা সাধারণতঃ **কিলোওয়াট** (Kilowatt) এককে প্রকাশিত হয়। ১ কিলোওয়াট = ১০০০ ওয়াট।

বিদ্যুৎ-কোম্পানীরা তড়িৎ-শক্তি বিক্রয় করে। ইহাদের নিয়োজিত শক্তির একককে **কিলোওয়াট-ঘণ্টা** (Kilo-watt-hour) বা বোর্ড-অফ-ট্রেড একক (B. T. U) বলে। এক কিলোওয়াট এক ঘণ্টা শক্তি সরবরাহ করিলে মোট শক্তির পরিমাণকে কিলোওয়াট-ঘণ্টা বা B. T. U বলে।

$\therefore$ ১ B. T. U = ১ কিলোওয়াট × ১ ঘণ্টা = ১০০০ × ৬০ × ৬০ জুল = ($১০^{৩}$ × $১০^{৭}$ আর্গ-সেকেণ্ড) × (৬০ × ৬০ সেকেণ্ড) = $১০^{১০}$ × ৩৬০০ আর্গ

$= ৩৬ \times ১০^{১২}$ আর্গ $= \frac{৩৬ \times ১০^{১২}}{৪.২ \times ১০^{৭}}$ ক্যালোরি $= \frac{৩৬ \times ১০^{৫}}{৪.২} = \frac{৬ \times ১০^{৫}}{.৭}$ ক্যালোরি

$= ৮৬৪ \times ১০^{৩}$ ক্যালোরি।

একটি যন্ত্র ২০০ ভোল্ট বিভব-ভেদ ৫০০ অ্যাম্পিয়ার প্রবাহ সরবরাহ করিলে P = ২০০ × ৫০০ = ১০,০০০০ ওয়াট = ১০০ কিলোওয়াট হয়। ১২ ঘণ্টা যন্ত্র

চলিলে শক্তি $= \frac{২০০ \times ৫০০ \times ১০}{১০০০} =$ ১১০০ B. T. U একক

B. T. U একক

$= \frac{\text{ভোল্টের সংখ্যা} \times \text{অ্যাম্পিয়ারের সংখ্যা} \times \text{ঘণ্টার সংখ্যা}}{১০০০}$

মনে রাখিবে কিলোওয়াট ক্ষমতার একক এবং কিলোওয়াট-ঘণ্টা (B. T. U.) শক্তির বা কার্যের একক। এক B. T. U এককের সাহায্যে $\frac{৮৬৪}{৭১০} =$ ১·২১ কিলোগ্রাম বরফ 0°C উষ্ণতা হইতে ১০০ উষ্ণতায় সম্পূর্ণরূপে বাষ্পে পরিণত হয়। কলিকাতায় তাপ সরবরাহের জন্য এক এককের দাম এক আনা। বাতির ও পাখার জন্য এককের দাম দশ পয়সা।

(গ) **অশ্বশক্তি** (Horse power): ১ অশ্বশক্তি (H. P.) = ৩৩০০০ ফুট পাউণ্ড-প্রতি মিনিটে = ৫৫০ ফুট পাউণ্ড প্রতি সেকেণ্ডে = ৫৫০ × ৩০·৪৮ × ৪৫৩·৬ × ৯৮১ আর্গ প্রতি সেকেণ্ডে = ৭৪৬ × ১০^{৭} আর্গ প্রতি সেকেণ্ডে = ৭৪৬ জুল প্রতি সেকেণ্ডে = ৭৪৬ ওয়াট = ·৭৪৬ কিলো-ওয়াট। মোটামুটি ১ কিলোওয়াট = ১$\frac{১}{৩}$ অশ্বশক্তি।

অঙ্ক: 1. Find the resistance of a 400-watt lamp and the current when used on a 200.volt circuit What would be the cost of using the lamp for 1000 hours at 6 annas per kilowatt hour? (Mad. U. 1929).

ওয়াট = ভোল্ট × অ্যাম্পিয়ার ∴ ৪০০ = ২০০ × i ∴ i = ২ অ্যা:।

১০০ ঘণ্টা বাতির দ্বারা ব্যবহৃত মোট তড়িৎ শক্তি $= \frac{\text{ভোল্ট} \times \text{অ্যাম্পিয়ার} \times \text{ঘণ্টা}}{১০০০}$

কি: ও: $= \frac{২০০ \times ২ \times ১০০০}{১০০০}$ কি: ও: = ৪০০ কি: ও:

∴ মোট ব্যয় = ৪০০ × $\frac{৬}{১৬}$ টাকা = ১৫০ টাকা।

2. A 220 volt electric tea-kettle takes 990 watts,

Calculate (i) the resistance of the heating element (ii) the time required to melt and boil away 1 kg. of ice assuming) a heat loss of 4% by conduction, radiation etc. (P. U. 1927).

(i) ওয়াট = ভোল্ট × অ্যাম্পিয়ার $\therefore$ ৯৯০ = ২২০ × i $\therefore$ $i = \frac{৯}{২}$ অ্যাঃ;

প্রয়োজনীয় $r = \frac{E}{i} = ২২০ \times \frac{২}{৯} = ৪৮\frac{৮}{৯}$ ওহম।

(ii) ১ কিলোগ্রাম বরফকে গলাইতে ও বাষ্পীভূত করিতে প্রয়োজনীয় তাপ = ১০০০ × ৮০ + ১০০০ × ১০০ + ১০০০ × ৫৩৬ = ১০০০(৮০ + ১০০ + ৫৩৬) = ১০০০ × ৭১৬ ক্যাঃ

মোট প্রয়োজনীয় তাপ $= ১০০০ \times ৭১৬ \times \frac{১০০}{৬০}$ ক্যাঃ

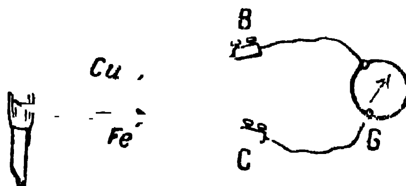
কিন্তু এই তাপ $H = \frac{E.i\,t.}{৪.২} = ২২০ \times \frac{৯}{২} \times \frac{t}{৪.২}$

$\therefore t = \frac{১০০০ \times ৭১৬ \times ১০ \times ৪.২}{৬ \times ১১০ \times ৯}$ সেকেণ্ড $= ৫০৬১\frac{৬১}{৯৯}$ সেকেণ্ড

তাপের তড়িৎ-ফল (Electric Effects of Heat)

৮৩। **সিবেক ফল** (Seebeck Effect): ১৮২১ খৃষ্টাব্দে সিবেক আবিষ্কার করেন যে দুইটি বিভিন্ন ধাতুর দণ্ডকে দুই প্রান্তে ঝালাই দিয়া যুক্ত করিয়া একটি সংহত বর্তনী গঠন করিয়া একটি নির্দিষ্ট জোড়-মুখ উত্তপ্ত করিলে একটি নির্দিষ্ট অভিমুখে তড়িৎ প্রবাহ চলিতে থাকে। অপর জোড়-মুখ উত্তপ্ত করিলে বিপরীত অভিমুখে প্রবাহ চলে। সুতরাং দুই জোড় মুখ বিভিন্ন উষ্ণতায় থাকিলে তড়িৎ প্রবাহের উৎপত্তি হয়। এই প্রবাহকে **তাপীয় তড়িৎ প্রবাহ** (Thermo-electric current) বলে। এইরূপ প্রবাহ উৎপাদনকারী যুগ্ম ধাতুকে **তাপীয় যুগল** (Thermo couple) বলে। তাপীয় যুগলে প্রবাহ উৎপাদনের ঘটনাকে **সিবেক ফল** বলে।

পরীক্ষা : (ক) একটি মোটা লোহার তার Fe ও একটি মোটা তামার তার Cu দুই জোড়-মুখে ঝালাই কর। Cu তারের সঙ্গে একটি সুবেদী·

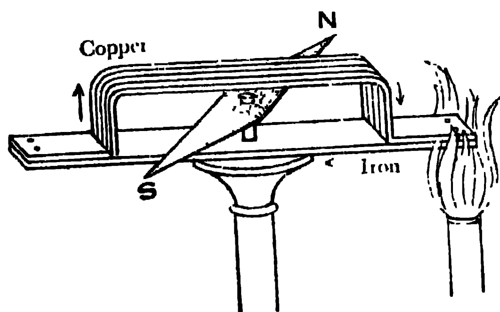


১১১ নং চিত্র—সিবেক ফল

গ্যাল্‌ভ্যানোমিটার G শ্রেণীতে যোগ কর। A জোড-মুখ উত্তপ্ত কর। লক্ষ্য কর উষ্ণ জোড়-মুখে তামা হইতে লোহায় তড়িৎ প্রবাহ চলে। A জোড-মুখ বরফে রাখিয়া শীতল কর। লক্ষ্য কর A জোড-মুখে লোহা হইতে তামায় প্রবাহ চলে। ইহা গ্যাল্‌ভ্যানমিটারের বিক্ষেপ দ্বারা বোঝা যায়।

দুই জোড়ের উষ্ণতার পার্থক্যের জন্য বর্তনীতে একটি তড়িচ্চালক বলের উদ্ভব হয়। গ্যাল্‌ভ্যানোমিটারের সাহায্যে এই বল মাপা যায়। এই বলকে **তাপীয় তড়িচ্চালক বল** (Thermo Electromotive Force) বলে।

পরীক্ষা (খ) : (১) বর্তনীর ভিতরে একটি শলাকার উপর একটি চুম্বক·



১১২ নং চিত্র—সিবেক ফল

সূচী NS রাখ। সমস্ত যন্ত্রকে চৌম্বক মধ্য রেখায় রাখ। ডান দিকের জোড়-মুখ গরম কর। চুম্বক-সূচী বিক্ষিপ্ত হয়। বিক্ষেপের দিক দেখিয়া বোঝা

যায় যে প্রবাহ এই জোড-মুখে তামা হইতে লোহার দিকে যায়। (২) এইবার বাম জোড়-মুখও আস্তে আস্তে গরম কর। বাম জোড-মুখে একটি বিপরীত তড়িচ্চালক বলের উদ্ভব হয় এবং প্রবাহ কমিতে থাকে। যখন উভয় জোড়-মুখ একই উষ্ণতায় আসে তখন প্রবাহ বন্ধ হয় এবং চুম্বক-সূচী চুম্বক মধ্য-রেখায় অবস্থান করে। (৩) ডান জোড়-মুখকে গরম না করিয়া বরফ দিয়া ঠাণ্ডা কর। এবার চুম্বক সূচী বিপরীত দিকে বিক্ষিপ্ত হয় অর্থাৎ এবার বিপরীত দিকে (লোহা হইতে তামার দিকে) প্রবাহ চলে।

প্রবাহ উৎপত্তির কারণ : উষ্ণ জোড-মুখে তাপ শোষিত হয় এবং শীতল জোড-মুখে তাপ বিকীর্ণ হয়। শোষিত তাপ বিকীর্ণ তাপ অপেক্ষা পরিমাণে বেশী হয়। এই অতিরিক্ত শোষিত তাপই তড়িত প্রবাহের শক্তিতে রূপান্তরিত হয়।

সিবেক বিভিন্ন ধাতু লইয়া পরীক্ষা করিয়া নিম্নলিখিত শ্রেণী প্রস্তুত করেন। এই শ্রেণীর যে কোন দুইটি ধাতু লইয়া তাপীয় যুগল গঠন করিলে উষ্ণ জোড় মুখে আগের ধাতু হইতে পরের ধাতুতে প্রবাহ চলে। বিস্মাথ, নিকেল, কোবাল্ট, প্লাটিনাম, তামা, সীসা, টিন, সোনা, রূপা, দস্তা, লোহা, এন্টিমণি—এই শ্রেণীকে **সিবেক শ্রেণী** (Seebeck Series) বলে।

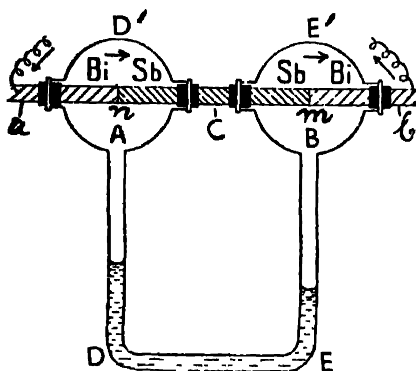
৮৩ (ক)। তাপীয় তড়িচ্চালক বল দুইটি বিষয়ের উপর নির্ভর করে: **(১) দুই ধাতুর প্রকৃতি :** শ্রেণীতে ধাতুগুলি যত দূরে হইবে তত তড়িচ্চালক বল বেশী হইবে। সুতরাং দুই জোড়ের উষ্ণতার একই পার্থক্যের জন্য এন্টিমণি ও বিস্মাথের তড়িচ্চালক বল সব চেয়ে বেশী।

(২) **দুই জোড়ের উষ্ণতার পার্থক্য :** একটি জোড়-মুখ Aকে 0°Cতে রাখিয়া অপর জোড়-মুখ Bর উষ্ণতা 0°c হইতে ক্রমশঃ বাড়াইয়া যাইলে তড়িচ্চালক বল ধীরে ধীরে বাড়িয়া যায়। উষ্ণ জোড়-মুখের একটি নির্দিষ্ট উষ্ণতায় তড়িচ্চালক বল **সর্বোচ্চ মানে** পৌছায়। এই নির্দিষ্ট উষ্ণতাকে **নিরপেক্ষ** (Neutral) **উষ্ণতা** বলে। তৎপরেও উষ্ণ জোড়-মুখের উষ্ণতা বাড়াইয়া যাইলে তড়িচ্চালক বল কমিতে থাকে এবং একটি নির্দিষ্ট উষ্ণতায়

তড়িচ্চালক বল শূন্য মানে আসে। B জোড-মুখের উষ্ণতা আরও বাড়াইলে তড়িচ্চালক বল বিপরীত অভিমুখে ক্রিয়া করে অর্থাৎ প্রবাহের অভিমুখ উল্টাইয়া যায়। B জোড-মুখকে ধীরে ধীরে শীতল করিলে একই ফল বিপরীত পর্য্যায় দেখিতে পাওয়া যায়। বিভিন্ন তাপীয় যুগলের নিরপেক্ষ উষ্ণতা বিভিন্ন হয়। দুই জোড়-মুখের উষ্ণতা ও নিরপেক্ষ উষ্ণতার পার্থক্য যদি সমান হয় তবে তড়িচ্চালক বলের মান শূন্য হইবে।

৮৪। পেল্‌চার ফল (Peltier Effect): ১৮৩৪ খৃষ্টাব্দে পেল্‌চার আবিষ্কার করেন যে যদি দুই বিভিন্ন ধাতুর জোড-মুখের মধ্য দিয়া ব্যাটারি হইতে তড়িৎ প্রবাহ পাঠান হয় তবে প্রবাহের অভিমুখ অনুসারে জোড-মুখে হয় তাপ শোষিত না হয় উদ্ভূত হয়। তড়িৎ প্রবাহের দ্বারা জোড মুখে তাপ শোষণ বা তাপোৎপত্তিকে **পেল্‌চার ফল** বলে।

পরীক্ষা: দুইটি মোটা বিস্‌মাথ (Bi) দণ্ড a ও bর মধ্যে একটি মোটা এণ্টিমণি (Sb) দণ্ড c ঝালাই কর। বায়ু-থার্মমিটারের দুই বাল্‌ব D' ও E'র মধ্যে ইহাদিগকে রাখ যাহাতে D' ও E' বাল্‌বের ঠিক মাঝখানে যথাক্রমে n ও m জোড-মুখ থাকে। a ও b তার ব্যাটারির দুই প্রান্ত-বন্ধনীর সঙ্গে যোগ কর। D' বাল্‌বে বিস্‌মাথ হইতে এণ্টিমণি ও E' বাল্‌বে এণ্টিমণি হইতে বিস্‌মাথে প্রবাহ চলে। সুতরাং E' বাল্‌বে m জোড-মুখ উষ্ণ হয়, বায়ু প্রসারিত হইয়া BE বাহুর তরলকে ঠেলিয়া দেয়। D' বাল্‌বে n জোড়-মুখ শীতল হয়। সুতরাং বায়ু সংকুচিত হয়। AD বাহুতে তরল উপরে উঠে। প্রবাহের অভিমুখ বদলাইলে দুই বাহুতে তরলের গতি উল্টা দিকে হইবে।

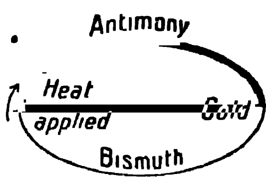


১১৩ নং চিত্র—পেলচার ফল

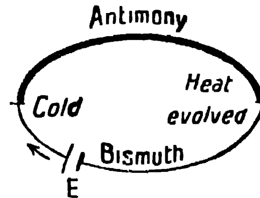
৮৫। পেল্‌চার ফল ও জুল ফল: এই দুই ফল সম্পূর্ণ বিভিন্ন। (ক) জুলের ফল পরিবাহীতে প্রবাহের অভিমুখের উপর নির্ভর করে না। কেবল রোধের উপর নির্ভর করে। প্রবাহের অভিমুখ বদলাইলেও পরিবাহী শীতল হয় না। উষ্ণই থাকে। পেল্‌চার ফল প্রবাহের অভিমুখের উপর নির্ভর করে। রোধের উপর নহে। (খ) জুল ফল প্রবাহ মাত্রার বর্গফলের সহিত সমানুপাতিক হয়। পেল্‌চার ফল প্রবাহ মাত্রার সহিত সমানুপাতিক হয়। (গ) জুল ফল পরিবাহীর সর্বত্র দেখা যায়, পেল্‌চার ফল কেবল জোড়-মুখে দেখা যায়।

৮৬। পেল্‌চার ফল ও সিবেক ফল: পেল্‌চার আবিষ্কার করেন যে তাপ প্রদান করিলে যে জোড়-মুখ একটি নির্দিষ্ট অভিমুখে তাপীয় তড়িৎ পাঠায় সেই জোড়-মুখে একই দিকে ব্যাটারি হইতে তড়িৎ প্রবাহ পাঠাইলে তাপ শোষণ করে। সেই জোড় মুখে বিপরীত দিকে তড়িৎ প্রবাহ পাঠাইলে তাপ উদ্ভূত হয়।

সুতরাং পেলচার ফল সিবেক ফলের বিপরীত ঘটনা। ১১৩নং চিত্রে এন্টিমণি ও বিসমাথের সিবেক ফল ও নং চিত্রে ঐ দুই ধাতুর পেলচার ফল



১১৪ নং চিত্র



১১৫ নং চিত্র

দেখান হইয়াছে। E ব্যাটারি। মনে রাখিবে সিবেক ফল তাপশক্তির তড়িৎ শক্তিতে রূপান্তরের দৃষ্টান্ত ও পেলচার ফল তড়িৎ শক্তির তাপ শক্তিতে রূপান্তরের দৃষ্টান্ত। সেইজন্য এই দুই ফল দুই তরফা (reversible)। জুলের ফলে পরিবাহীর রোধের জন্য তাপ শক্তি উদ্ভূত হয়। এই তাপ শক্তি হইতে আর প্রবাহ পাওয়া যায় না। সেইজন্য জুল ফল এক তরফা (irreversible).

৮৭। টমসন ফল (Thomson Effect): একই সমস্বত্ব তারের

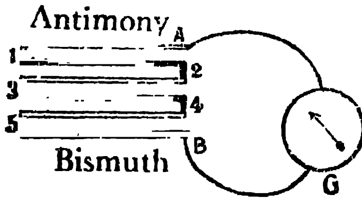
দুই প্রান্ত বিভিন্ন উষ্ণতায় থাকিলে তারের ভিতর তড়িচ্চালক বলের উদ্ভব হয়। অর্থাৎ একই পরিবাহীর বিভিন্ন অংশ বিভিন্ন উষ্ণতায় থাকিলে ইহার বিভিন্ন অংশগুলি পরস্পরের সহিত তড়িৎ ধনাত্মক বা তড়িৎ ঋণাত্মক হয়। কতক ধাতুতে উষ্ণ হইতে শীতল অংশে তড়িচ্চালক বলের অভিমুখ হয়, কতক ধাতুতে শীতল হইতে উষ্ণ অংশে এই বলের অভিমুখ হয়। সুতরাং এই তড়িচ্চালক বলের জন্য তারের বিভিন্ন অংশে তাপ শোষিত বা উদ্ভূত হয়। এই ফলকে **টমসন ফল** বলে।

৮৮। **ইলেক্ট্রোনবাদ অনুসারে তিনটি ফলের ব্যাখ্যা:** আমরা জানি যে (i) বিভব-ভেদের পার্থক্যের জন্য ইলেক্ট্রোন গতি প্রাপ্ত হয়। ইলেক্ট্রোনের গতিই হইল তড়িৎ প্রবাহ। (ii) বিভিন্ন ধাতুতে ইলেক্ট্রোনীয় চাপ (অর্থাৎ প্রতি একক আয়তনে আলগা ইলেক্ট্রোনের (loose বা valence electron) সংখ্যা বিভিন্ন হয়। (iii) বিভিন্ন উষ্ণতায় একই ধাতুতে বিভিন্ন অংশে ইলেক্ট্রোনীয় চাপ বিভিন্ন হয়।

দুই ধাতুর জোড-মুখের উষ্ণতা-বিভিন্ন হইলে প্রত্যেক জোড়-মুখে বিভব-ভেদ পৃথক হয়। উষ্ণ জোড-মুখে বিভব-ভেদ বেশী হয়। কাজেই ধাতু-যুগলের মধ্য দিয়া তড়িৎ-প্রবাহ হয় (সিবেক্ ফল)। যে জোড়-মুখে ইলেক্ট্রোন উচ্চ ইলেক্ট্রোনীয় চাপের ধাতু হইতে নিম্ন চাপের ধাতুতে যায় সেখানে ইলেক্ট্রোনগুলি গতির জন্য গতীয়-শক্তি সম্পন্ন হয়। গতিশীল ইলেক্ট্রোন পার্শ্ববর্তি পরমাণুর গতি বৃদ্ধি করে সুতরাং ইহাতে তাপ বৃদ্ধি হয় (পেল্‌চার ফল)। সমস্বত্ব তারের বিভিন্ন অংশে বিভিন্ন উষ্ণতা থাকার জন্য ইলেক্ট্রোনীয় চাপের পার্থক্য হয়। সুতরাং এই চাপের পার্থক্যের জন্য ইলেক্ট্রোনগুলি গতিশীল হয় এবং প্রবাহের উৎপত্তি হয়।

৮৯। **থার্মপাইল** (Thermopile): তড়িৎ ও তাপের উপরোক্ত নীতির উপর নির্ভর করিয়া অনেক উষ্ণতা-মাপক যন্ত্রের আবিষ্কার হইয়াছে। **পাইরোমিটার** নামক যন্ত্র দিয়া উচ্চ উষ্ণতা মাপা যায়। **থার্মপাইল** যন্ত্র দিয়া উষ্ণতার সামান্য পার্থক্য মাপা যায়।

থার্মপাইল: এই যন্ত্রে এন্টিমণি ও বিস্‌মাথের কতকগুলি ছোট দণ্ডের প্রান্ত পর্যায়ক্রমে শ্রেণীতে ভালভাবে ঝাল দেওয়া হয়। চিত্রে দুই যুক্ত সরু রেখা এন্টিমণি দণ্ড ও মোটা কাল রেখা বিস্‌মাথ দণ্ড। এন্টিমণি ও বিস্‌মাথের ধাতু-যুগলে সর্বোচ্চ তড়িচ্চালক বলের উদ্ভব হয়। সেইজন্য ইহাদিগকে নির্বাচন করা হয়। 0° ও ১০০°C উষ্ণতার পার্থক্যের জন্য এই যুগলে তঃ চাঃ বল = ·০০০৮ ভোল্ট হয়। দুই দণ্ডের মধ্যে অন্তরক অভ্র রাখা হয় যাহাতে দুইটি দণ্ড কেবল জোড়মুখ স্পর্শ করে। প্রথম দণ্ডের (এন্টিমণি) প্রথম A প্রান্ত ও শেষ দণ্ডের (বিস্‌মাথ) শেষ B প্রান্ত একটি সুবেদী G গ্যাল্‌ভ্যানোমিটারের সঙ্গে যোগ করা হয়। দণ্ডগুলিকে **স্তূপ** (Pile) বলে। স্তূপ একটি পিতলের আবরণের মধ্যে থাকে কিন্তু জোড়মুখগুলির উপর কোন আবরণ থাকে না। যে জোড়মুখে বিকীর্ণ তাপ (radiant heat) পতিত হয় সেই মুখে তাপ-শোষণ বাড়াবার জন্য কাল রং থাকে। এই যন্ত্র সৌর শক্তির বিকীরণ ও বর্ণালিতে তাপ-শক্তির মাত্রা মাপিবার জন্য ব্যবহৃত হয়। অনেক সময় থার্মপাইলের দুই জোড়মুখের উষ্ণতার পার্থক্য মাপিবার জন্য গ্যাল্‌ভ্যানোমিটার অংশাঙ্কন করা থাকে।



১১৬ নং চিত্র—থার্মপাইল

প্রশ্ন

1. Obtain an expression for the quantity of heat generated in a conductor of resistance 'R' when a current 'C' passes through it for 't' seconds. (Pat 1932, '39, '42 ; Cf. C U. '42, '44).

2. In what respects does a wire carrying a current differ from a wire which carries no current? How can the effects so produced be utilised for the measurement of current? (All. 1917).

Hints.—Differs in two respects.—When a current passes through a wire (*i*) a magnetic field is set up round the wire; (*ii*) heat is developed in the wire.

For the measurement of current, magnetic effects are utilised in instruments known as ammeters, and the heating effects are utilised where C is calculated from the relation $JH = C^2 r.t \times 10^7$].

3. A constant current of one ampere flows in a platinum wire of resistance 5 ohms, stretched along the axis of a cylindrical tube, through which a steady stream of water passes at the rate of 15 c.c. per minute. The steady difference between the temperatures of the water entering and leaving is 1·8°C. Neglecting losses of heat, calculate a value of the mechanical equivalent of heat. (C. U 1937).

Ans. 4.16×10^7 ergs.

4. A current of 5 amperes flows through a wire of resistance 10 ohms for 2 minutes. If the heat produced is exclusively supplied to 100 gm of water, through how many degrees will the temperature be raised? (C. U 1941). (Ans. 70°C)

5. State Joule's Law regarding the development of heat in an electrical circuit. Describe an experiment to verify it. (C U. 1927, '30, '45, Pat '28, '40, '48, All '31, 44, '46, Dac 1934)

6. An incandescent lamp with carbon filament works at 2·5 watts under a voltage of 20 volts What is the resistance of the lamp? (C. U. 1927). (Ans 160 ohms)

7. State Joule's law on the production of heat in an electric circuit. An electric iron which when hot has a resistance of 80 ohms, is used on a 200 volt circuit. What will be the cost of using it for 2 hours it energy costs 3 as. per K.W.H ? (C U. 1917).

8. Explain the term watt, Board of Trade Unit, Efficiency of a lamp. (All. 1932).

Calculate the amount of heat produced in 5 min. in a 20 watt lamp. (All. 1928). [Hints $H = (20 \times 5 \times 60/4 \cdot 2$ Cal.).

9. Define and compare (*a*) coulombs and amperes, (*b*) Joules and watts. State how joule is related to the volt and ampere. Describe an experiment which illustrates the statement that one calori equals 4·2 joules (C. U. 1946).

10. What is a thermo-couple? How will you demonstrate currents generated in such a couple? Give a diagram of the arrangement to be used by you. (All. 1928. C. U. '45).

11. What is a thermo-electric current? Describe how you would demonstrate its presence. How do you explain the existence of such a current from the principle of conservation of energy? (C. U 1934).

12. Give a brief account of a thermopile (C. U. 1932; All. '25).

13. State the law of production of heat by electric current in a resistance. After whose name is the law known? An electric lamp has a resistance of 400 ohms. It is connected to supply mains of 200 volts. If the price of electric energy be 3 as. per kilowatt-hour, calculate the cost of lighting the lamp for 10 hours.

14. What is a thermo-electric current? Describe how you would demonstrate it.

তড়িৎ-বিশ্লেষণ (Electrolysis)

৯০। **সংজ্ঞা:** (ক) বিভিন্ন পদার্থ তড়িতের সংস্পর্শে আসিলে বিভিন্নরূপ আচরণ করে। কতকগুলি পদার্থের মধ্য দিয়া তড়িৎ মোটেই প্রবাহিত হয় না যথা পেট্রোলিয়ম, কোহল, শুষ্ক কাঠ। ইহাদিগকে **অপরিবাহী** (Non-conductor) বলে। কতকগুলি পদার্থের মধ্য দিয়া তড়িৎ প্রবাহিত হয় এবং সঙ্গে সঙ্গে ইহারা রাসায়নিকভাবে বিশ্লিষ্টও হয় যথা জলে অম্ল, ক্ষার বা লবণের পাতলা দ্রবণ, গলিত কঠিন পদার্থ। ইহাদিগকে **ইলেক্‌ট্রোলাইট** (Electrolyte) বলে। কতকগুলি পদার্থের মধ্য দিয়া তড়িৎ প্রবাহিত হয় কিন্তু ইহারা বিশ্লিষ্ট হয় না যথা, ধাতু, গ্যাস কয়লা, চিনির দ্রবণ। ইহাদিগকে **নন্ ইলেক্‌ট্রোলাইট** (Non-electrolyte) বলে। কঠিন অবস্থায় কতকগুলি লবণ (যথা NaCl) ও ক্ষার অপরিবাহী কিন্তু গলিত অবস্থায় ভাল ইলেক্‌ট্রোলাইট। পারদ ভাল পরিবাহী কিন্তু ইহা ইলেক্‌ট্রোলাইট নহে।

(খ) তড়িৎ প্রবাহ দ্বারা কোন তরলের বা গলিত বা দ্রবীভূত পদার্থের রাসায়নিক বিয়োজনকে (decomposition) **তড়িৎ-বিশ্লেষণ** বলে। সুতরাং **তড়িৎ-বিশ্লেষণ = তড়িৎপরিবহন + রাসায়নিক বিয়োজন।** যে

পাত্রে তড়িৎ বিশ্লেষণ সংঘটিত হয় তাহাকে **তড়িৎ-বিশ্লেষক কোষ বা ভোল্টমিটার** (Electrolytic cell বা Voltameter) বলে। ইলেক্ট্রোলাইটে নিমজ্জিত বস্তুর (ধাতব পাত, কারবন দণ্ড) সাহায্যে ব্যাটারি হইতে তড়িৎ ইলেক্ট্রোলাইটে প্রবেশ করে বা ইহা ত্যাগ করে। এই বস্তুকে **তড়িৎ-দ্বার** (Electrode) বলে। যে দ্বারের সঙ্গে ব্যাটারির ধনাত্মক মেরুর যোগ থাকে তাহাকে **অ্যানোড** (Anode) বা **ধনাত্মক দ্বার** বলে। অ্যানোড দ্বার + আধানে আহিত হয়। এই দ্বার দিয়া তড়িৎ ইলেক্ট্রোলাইটে প্রবেশ করে। যে দ্বারের সঙ্গে ব্যাটারির ঋণাত্মক মেরুর সঙ্গে যোগ থাকে তাহাকে **ক্যাথোড** (Kathode) বা **ঋণাত্মক দ্বার** বলে। ক্যাথোড দ্বার —আধানে আহিত হয়। এই দ্বার দিয়া তড়িৎ ইলেক্ট্রোলাইট ত্যাগ করে।

দ্রষ্টব্য : মনে রাখিবে ধাতব তারে তড়িৎ প্রবাহিত হইবার সময় তারের অণু বা পরমাণু স্থান পরিবর্তন করে না; কিন্তু ইলেক্ট্রোলাইটের মধ্য দিয়া তড়িৎ প্রবাহিত হইবার সময় বিশ্লিষ্ট অণু বা পরমাণু বিপরীত তড়িৎ-দ্বারে সরিয়া যায়। তবে ধাতুর দ্বারা তড়িৎ পরিবহনের সময় যে চৌম্বক ও তাপীয় ফলের উদ্ভব হয়, ইলেক্ট্রোলাইটের দ্বারা তড়িৎ পরিবহনের সময়ও সেই চৌম্বক ও তাপীয় ফলের উদ্ভব হয়।

৯১। তড়িৎ-বিশ্লেষণের ব্যাখ্যা : আয়নবাদ (Ionic Theory); প্রথমে ক্লসিয়াস (Clausius) পরে ১৮৯৬ খৃষ্টাব্দে আরহেনিয়াস (Arrenhius) তড়িৎ-বিশ্লেষণ ব্যাখ্যা করিয়া **আয়নবাদ** প্রবর্তন করেন। বাদটি **এইরূপ :** তড়িৎ-বিশ্লেষণ দুইটি ধাপে হয়, যথা (১) আয়নীভবন ও (২) তড়িৎ পরিবহন।

(১) **আয়নীভবন** (Ionisation) : (ক) ইলেক্ট্রোলাইট (যথা অম্ল, ক্ষার বা লবণ) জলে বা কোন আয়নিকরণ মাধ্যমে (ionising medium) দ্রবীভূত করিবামাত্রই বিনা তড়িৎ প্রবাহের সাহায্যে আপনা হইতেই ইলেক্ট্রোলাইটের কতকগুলি অণু (যাহা কঠিন অবস্থায় তড়িৎ-উদাসীন (electrically neutral) থাকে। বিপরীত কিন্তু সমান আধান বিশিষ্ট দুই বা ততোধিক অংশে ভাগ হইয়া যায়। এই আধান যুক্ত অংশকে **আয়ন**

(Ion) বলে। যে অংশগুলি + আধানযুক্ত তাহাদিগকে **ক্যাটায়ন** (Cations) বলে। যে অংশগুলি − আধানযুক্ত তাহাদিগকে **অ্যানায়ন** (Anions) বলে। দ্রবণে ইলেক্‌ট্রোলাইটের স্বতঃ আয়নে বিশ্লেষণকে **আয়নীভবন** বলে।

দৃষ্টান্ত: NaCl (সাধারণ লবণ) তড়িৎ-উদাসীন কিন্তু NaCl জলে দ্রবীভূত হইলেই ইহার এক অণু ধনাত্মক Na^+ ও ঋণাত্মক Cl^- আয়নে বিশ্লিষ্ট হয়। তড়িচ্চালক বল প্রয়োগের পূর্বে আয়নগুলি জলে এলোমেলোভাবে বিক্ষিপ্ত থাকে। সবগুলি অণু একসঙ্গে আয়নে বিশ্লিষ্ট হয় না। দ্রবীভূত পদার্থের পরিমাণ, প্রকৃতি ও দ্রবণের তীব্রতার (concentration of the solution) উপর আয়নীভবনের মাত্রা নির্ভর করে। যে কোন সময়ে দ্রবণে আয়ন ও অবিশ্লিষ্ট অণু সাম্য রক্ষা করে। দ্রবণকে যত পাতলা করা যায় তত আয়নের ভাগ বাড়িয়া যায়।

আয়নীভবনের কারণ: ইলেক্‌ট্রোলাইটের অণু দুইটি বিপরীত আধানে আহিত অংশে গঠিত হয়। ইহাদের মধ্যে আকর্ষণ-বল কুলম্বের সূত্রানুসারে নিয়ন্ত্রিত হয় (৬ষ্ঠ খণ্ড ৩০ অনুচ্ছেদ)। $F = \frac{q\,q^1}{r^2} \cdot \frac{1}{K}$; এখানে q ও q^1 যথাক্রমে + ও − আধান, r = দূরত্ব, K = মাধ্যমের আপেক্ষিক আবেশিক ধারকত্ব (S.I.C) সুতরাং আধান ও দূরত্ব সমান থাকিলে F ও K ব্যস্তানুপাতিক হয় অর্থাৎ K-এর মাত্রা বেশী হইলে আকর্ষণ কমিবে, K-র মাত্রা অল্প হইলে আকর্ষণ বাড়িবে। আমরা জানি শূন্য স্থানের জন্য আঃ আঃ ধারকত্ব Kকে এক ধরা হইলে জলের বেলায় আঃ আঃ ধারকত্ব ৮১ হয়। কোন জিনিষেরই আঃ আঃ ধারকত্ব জলের চেয়ে বেশী নয়। সুতরাং জলের মধ্যে কোন ইলেক্‌ট্রোলাইট দ্রবীভূত হইলে উহাদের অণুর + আহিত ও − আহিত অংশের মধ্যে আকর্ষণ কমে যায় এবং উহারা দুইটি আয়নে বিশ্লিষ্ট হয়। জলের ভাগ যত বাড়ে তত আয়নীভবন বাড়ে।

(২) **তড়িৎ পরিবহন:** তড়িৎ-দ্বারের সঙ্গে ব্যাটারির সংযোগ করিলেই তড়িচ্চালক বল আয়নগুলিকে তড়িৎদ্বারের দিকে ঠেলিয়া দেয়। তড়িৎ বলের

আকর্ষণ বিকর্ষণের নিয়ম অনুসারে একই সময়ে ধনাত্মক ক্যাটায়নগুলি দল বাঁধিয়া ঋণাত্মক দ্বার ক্যাথোডে গিয়া এবং ঋণাত্মক অ্যানায়নগুলি দল বাঁধিয়া ধনাত্মক দ্বার এ্যানোডে গিয়া তড়িৎ মোক্ষণ করিয়া সাধারণ অণুতে পরিণত হয়। যথা NaCl দ্রবণের মধ্যে তড়িৎ-দ্বার রাখিয়া ব্যাটারির সঙ্গে সংযোগ করিলে Na^+ আয়ন ক্যাথোডে ও Cl^- আয়ন অ্যানোডে যথাক্রমে + আধান ও − আধান দিয়া Na ও Cl অণুতে পরিণত হয়। তড়িচ্চালক বল অবিশ্লিষ্ট অণুর উপর ক্রিয়া করে না। বিভিন্ন দিকে একই সময়ে আয়নের গতিই দ্রবণে প্রবাহ উৎপাদন করে। সুতরাং তড়িৎ একপ্রকার পরিচলন (convection) ক্রিয়ায় স্থানান্তরিত হয়।

দ্রষ্টব্য : মনে রাখিবে :—(ক) তড়িৎ আয়নীভবন সংঘটিত করে না। ইহা কেবল নির্দিষ্ট অভিমুখে আয়নের গতি উৎপন্ন করে। (খ) আয়নের ও সাধারণ অণুর ধর্ম বিভিন্ন হয়। দ্রবণে মুক্ত Na^+ আয়ন থাকিলেও জলকে বিশ্লিষ্ট করে না কিন্তু Na^+ আয়ন ক্যাথোডে গিয়া তড়িৎ মুক্ত হইলে Na অণু জলকে বিশ্লিষ্ট করিয়া NaOH গঠন করে। (গ) হাইড্রোজেন ও ধাতুর আয়ন ক্যাথোডে মুক্ত হয়। সুতরাং ইহারা +আধানে আহিত হয়। অধাতুর আয়ন অ্যানোডে মুক্ত হয় সুতরাং ইহারা —আধানে আহিত হয়। (ঘ) আয়নে আধানের পরিমাণ ইহার যোজ্যতার উপর নির্ভর করে। (ঙ) বিশুদ্ধ জল তড়িতের কুপরিবাহী, বিশুদ্ধ H_2SO_4 দ্রবীভূত করিলে দ্রবণ তড়িতের পরিবাহী হয়।

৯২। তড়িৎ বিশ্লেষণের সূত্র (Faraday's Laws of Electrolysis) **:** ফ্যারাডে নিম্নলিখিত সূত্র আবিষ্কার করেন :—

প্রথম সূত্র : তড়িতের পরিমাণ ও তড়িৎ দ্বারা মুক্ত আয়নের ভর সমানুপাতিক হয়। মনে কর Q কুলম্ব পরিমাণ তড়িৎ ইলেক্‌ট্রোলাইটের মধ্য দিয়া প্রবাহিত হইলে W গ্রাম আয়ন মুক্ত হয়। $\therefore \quad W \propto Q.$

যদি i অ্যাম্পিয়ার প্রবাহ মাত্রা t সেকেণ্ড প্রবাহিত হয় তবে $W \propto i.t.$ অর্থাৎ মুক্ত আয়ন এবং তড়িৎ প্রবাহের সময় ও প্রবাহমাত্রার গুণফল সমান।

দ্বিতীয় সূত্র : যদি একই পরিমাণ তড়িৎ বিভিন্ন ইলেকট্রোলাইটের মধ্য দিয়া প্রবাহিত হয় তবে বিভিন্ন তড়িৎদ্বারে মুক্ত আয়নের ভর ও তাহাদের রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক (Chemical Equivalent C.E.)* সমানুপাতিক হয়।

৯৩। তাড়িৎ রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক (Electro-Chemical Equivalent) :

প্রথম সূত্র হইতে আমরা পাই $W \propto i.t.$ ∴ $W = Z.i.t$ এখানে $Z =$ ধ্রুবক। যদি $i = ১$ অ্যাঃ, $t = ১$ সেকেণ্ড হয় তবে $Z = W =$ এক একক তড়িৎ দ্বারা মুক্ত আয়নের ভর। ইহাকে **তাড়িৎ রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক** বলে। সুতরাং এক একক কুলম্ব দ্বারা মুক্ত আয়নের ভরকে অর্থাৎ এক অ্যাম্পিয়ার তড়িৎ এক সেকেণ্ড প্রবাহিত হইলে যে আয়ন মুক্ত হয় তাহার গ্রামে প্রকাশিত ভরকে তাড়িৎ রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক বলে। "রূপার তাড়িৎ রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক = ·০০১১১৮৩"—ইহার অর্থ এই যে রূপার ভোল্টামিটারের মধ্য দিয়া ১ কুলম্ব তড়িৎ বা ১ আম্পিয়ার প্রবাহ ১ সেকেণ্ড প্রবাহিত হইলে ক্যাথোডে ·০০১১১৮৩ গ্রাম রূপা জমে।"

৯৪। রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক ও তাড়িৎ রাসায়নিক তুল্যাঙ্কের সম্পর্ক :

মনে কর একই পরিমাণ তড়িৎ দ্বারা A ও B মৌলের মুক্ত আয়নের ভর W_A ও W_B.

∴ দ্বিতীয় সূত্রানুসারে $\dfrac{W_A}{W_B} = \dfrac{\text{A মৌলের রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক}}{\text{B মৌলের রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক}}$

---

* কোন মৌলের যে ভর (গ্রামে প্রকাশিত) এক গ্রাম হাইড্রোজেন অপসারিত করে বা এক গ্রাম হাইড্রোজেনের সহিত যুক্ত হয় তাহাকে মৌলের **রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক** বলে। ∴ রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক = $\dfrac{\text{পারমাণবিক ওজন}}{\text{যোজ্যতা (valency)}}$। মৌলের এক পরমাণুর সহিত যুক্ত হাইড্রোজেনের পরমাণুর সংখ্যাকে মৌলের **যোজ্যতা** বলে। রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক গ্রামে প্রকাশিত হইলে তাহাকে গ্রাম-তুল্যাঙ্ক (gram equivalent) বলে।

কিন্তু প্রথম সূত্রানুসারে $W_A = Z_A. i.t$ এবং $W_B = Z_B. i.t$ (Z_A ও Z_B যথাক্রমে মৌলদ্বয়ের তাড়িৎ রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক)

$$\therefore \frac{Z_A}{Z_B} = \frac{\text{Aর রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক}}{\text{Bর রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক}}$$

সুতরাং তাড়িৎ রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক ও রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক সমানুপাতিক হয়।

$$\therefore Z_A = Z_B \times \frac{\text{Aর রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক}}{\text{Bর রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক}}$$

যদি Z_B কোন **প্রমাণ** মৌলের তাড়িৎ রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক হয় তবে অন্য মৌলের তাড়িৎ রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক বাহির করা যায়। রূপার ভোল্টামিটারে রূপার লবণ হইতে ক্যাথোডে অতি বিশুদ্ধ রূপা জমা হয় বলিয়া রূপাকে প্রমাণ মৌল ধরা হয়; তাড়িৎ রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক খুব নিভুর্লভাবে নির্ণীত হইয়াছে।

৯৫। ভোল্টামিটার : যে তড়িৎ-বিশ্লেষক (electrolytic) কোষের সহিত অন্য ব্যবস্থার দ্বারা প্রবাহ মাত্রা মাপা হয় তাহাকে **ভোল্টামিটার** বলে।

নীতি : $W = Z.i\,t.$ যদি কোন মৌলের তাড়িৎ রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক Z, তড়িৎ প্রবাহের সময় t জানা যায় এবং মুক্ত আয়নের ভর W ভোল্টামিটার যন্ত্রের দ্বারা মাপা যায় তবে উপরোক্ত সমীকরণের সাহায্যে প্রবাহ মাত্রা i বাহির করা যায়।* তিন প্রকার ভোল্টামিটার ব্যবহৃত হয় :

(ক) **জল ভোল্টামিটার** (Water Voltameter) **যন্ত্র :** একটি কাচ পাত্রে Vতে বিশুদ্ধ জল থাকে। জল তাপের কুপরিবাহী। জলের পরিবাহিতা

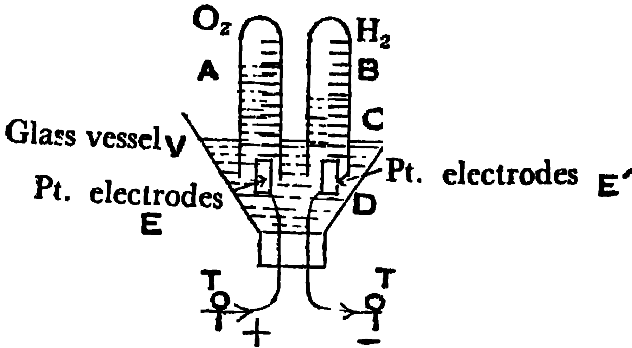
* আমরা তিনটি পদ্ধতিতে প্রবাহমাত্রা নির্ণয় করিতে শিখিতেছি :

(i) তড়িতের চুম্বকীয় ফলের দ্বারা : গ্যাল্‌ভ্যানোমিটারের চুম্বকের বিক্ষেপ মাপিয়া : সমীকরণ $i = K \tan \theta^\circ$

(ii) তড়িতের তাপীয় ফলের দ্বারা : উদ্ভূত তাপ মাপিয়া : সমীকরণ $H = i^2 r t \times .24$

(iii) তড়িতের রাসায়নিক ফলের দ্বারা : মুক্ত আয়ন মাপিয়া : সমীকরণ $W = Z.i.t.$

বাড়াইবার জন্য জলে সামান্য সালফিউরিক অম্ল মিশান হয়। দুইটি প্লাটিনাম তড়িৎ-দ্বার E ও E′ কাচ পাত্রের তলদেশে গলাইয়া বসান থাকে। তড়িৎ-দ্বার



১১৭ নং চিত্র—জল ভোল্টামিটার

দুইটি যোজক-স্ক্রু T ও T′র সঙ্গে যুক্ত থাকে। দুইটি অংশাঙ্কিত জলপূর্ণ নল A ও B দুইটি তড়িৎ দ্বারের উপর উপুড় করা থাকে। নল দুইটি একটি কাঠের টুক্‌রা Cর মধ্যে বসান থাকে।

পদ্ধতি: T ও T′ যোজক-স্ক্রু যথাক্রমে ব্যাটারির + ও − প্রান্ত-বন্ধনীর সঙ্গে যোগ কর। তড়িৎ প্রবাহের জন্য A ও B নলে সঙ্গে সঙ্গে গ্যাস জন্মে। পরীক্ষার দ্বারা ক্যাথোড E′র উপরকার B নলে H_2 ও অ্যানোড Eর উপরকার A নলে O_2 জন্মে। যতক্ষণ না Bতে H_2 গ্যাস ভোল্টামিটারের জলতলে না আসে ততক্ষণ প্রবাহ চালাও। ইহাতে মুক্ত O_2 এর আয়তন মুক্ত H_2এর আয়তনের অর্ধেক হয়।

গণনা: ষ্টপ-ঘড়ির সাহায্যে তড়িৎ প্রবাহের সময় t লও। B নলের অংশাঙ্কন হইতে বায়ুমণ্ডলের চাপে (P) H_2এর আয়তন V পাঠ কর। ইহাতে একটু জলীয় বাষ্প থাকে। জলীয় বাষ্পের চাপ f বাদ দাও। ঘরের উষ্ণতা T লও। $\frac{PV}{T}=\frac{P^1V^1}{T^1}$— এই সমীকরণের সাহায্যে প্রমাণ উষ্ণতা ও চাপে

হাইড্রোজেনের আয়তন বাহির কর। মনে কর ইহা V^1 ঘঃ সেঃ মিঃ

$\therefore$ H_2 গ্যাসের ভর $= V^1 \times \cdot 0000৮৯$ গ্রাম $= W$ গ্রাম (মনে কর)

$\therefore$ $i = \frac{W}{Z.t}$। এখানে W, t, Z জানা আছে। (H_2এর জন্য Z= ·০০০০১০৪ গ্রাম প্রতি কুলম্বে)

ক্রিয়া : জল ভোল্টামিটারে রাসায়নিক ক্রিয়া দুই ধাপে অনুষ্ঠিত হয়। (i) জলে মিশিলেই H_2SO_4এর অণু H_2 ও SO_4 আয়নে বিশ্লিষ্ট হয়, $H_2SO_4 = 2H^+ + SO_4^{--}$ (ii) তড়িৎ প্রবাহ চালাইলেই অর্থাৎ তড়িচ্চালক বল প্রয়োগ করিলে $2H^+$ আয়ন ক্যাথোডে গিয়া তড়িৎ মোক্ষণ করিয়া হাইড্রোজেন গ্যাস হইয়া Bতে জমে। SO_4^{--} আয়ন অ্যানোডে গিয়া তড়িৎ মোক্ষণ করিয়া SO_4 মূলকে পরিণত হয়। কিন্তু SO_4 মূলক খুব দুঃস্থিত (unstable) সেইজন্য অ্যানোডই ইহা জলের অণুর সহিত ক্রিয়া করিয়া H_2SO_4 গঠন করে এবং O_2 মুক্ত হয়। $SO_4^{--} + H_2O = H_2SO_4 + O^{--}$ অ্যানোডে **গৌণ প্রতিক্রিয়া** (secondary reaction) হয়। H_2SO_4 পুনর্গঠিত হয় সুতরাং প্রকৃত H_2SO_4 তড়িৎ দ্বারা বিশ্লেষিত হয় না; জলই তড়িৎ বিশ্লেষিত হয়।

ভুলের কারণ : (ক) জলে O_2 ও H_2 গ্যাসের অসমান দ্রাব্যতার জন্য, (খ) তড়িৎ-দ্বার দ্বারা সামান্য H_2 এর অন্তর্ধৃতির (occlusion) জন্য, (গ) সামান্য O_2র O_3তে পরিণতির জন্য—এই তিন কারণে O_2এর আয়তন H_2এর আয়তনের ঠিক অর্ধেক হয় না।

(খ) **কপার ভোল্টামিটার** (Copper Voltameter) **: যন্ত্র :** একটি কাচের পাত্র COতে কপার সাল্‌ফেটের কেলাসের সংপৃক্ত (১৫%) দ্রবণ লওয়া হয়। উহাতে প্রত্যেক লিটারে ৫ ঘঃ সেঃ মিঃ ঘন H_2SO_4 মিশান হয়। G পাশের মুখে একটি ইবোনাইট ঢাকনা E থাকে। একটি পাতলা কপার পাতকে ক্যাথোড K করা হয়। ক্যাথোডের খানিকটা ঢাকনার বাহিরে থাকে এবং ক্যাথোডে সহজেই ঢাকনা হইতে পৃথক করা যায়।

ক্যাথোডের সঙ্গে একটি যোজক-স্ক্রু N আঁটা থাকে। দুইটি পরস্পর সংলগ্ন মোটা কপার পাত A Aকে অ্যানোড করা হয়। অ্যানোড দুইটি ঢাকনার উপরে উঠে না। দুইটি অ্যানোডে পাতের সঙ্গে একটি M যোজক-স্ক্রুর সংযোগ থাকে। দুই অ্যানোড পাতের মাঝখানে ক্যাথোড থাকে কিন্তু ইহাদিগকে স্পর্শ করে না। ক্যাথোডের দুই পাশে কপার জমা হয়। ক্যাথোড পাতের ধারগুলি গোল করা থাকে। ইহাতে এই সকল স্থানে সঞ্চিত কপার স্তর পুরু হয় না। দ্রবণে নিমজ্জিত ক্যাথোডের ক্ষেত্রফল এমন হওয়া দরকার যে প্রত্যেক ৫০ বর্গ সেন্টিমিটারে এক অ্যাম্পিয়ার প্রবাহ যায়। ইহাতে কপার ভালভাবে জমে।

পদ্ধতি: ক্যাথোডকে শিরিষ কাগজ দিয়া ঘষিয়া, পরিস্রুত জলে ধুইয়া ধূলি-বালিশূন্য বায়ুতে শুকাইয়া সুবেদী তুলাযন্ত্রে ওজন কর। ইহাকে ভোল্টামিটারে রাখিয়া ভোল্টামিটারের মধ্য দিয়া নির্দিষ্ট সময় প্রবাহ পাঠাও। ষ্টপ-ঘড়ির সাহায্যে পরে সময় দেখ। ক্যাথোডকে পরিস্রুত জলে ধুইয়া শুকাইয়া পুনরায় ওজন কর। ক্যাথোডের দুই ওজনের পার্থক্য = ক্যাথোডে সঞ্চিত কপারের ওজন = W (মনে কর)। এখানে t ও Z জানা যায়।

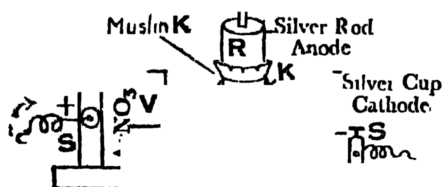
$$\therefore \quad i = \frac{W}{০০০৩২৯৩ \times t}$$

ক্রিয়া: কপার সালফেট জলে দ্রবীভূত হইলে কতকগুলি $CuSO_4$ অণু Cu^{++} ও SO_4^{--} আয়নে বিশ্লিষ্ট হয় যথা $CuSO_4 = Cu^{++} + SO_4^{--}$। তড়িৎ প্রবাহ অতিক্রম করাইলে অর্থাৎ তড়িচ্চালক বল প্রয়োগ করিলে Cu^{++} আয়ন ক্যাথোডে যাইয়া তড়িৎ মোক্ষণ করিয়া ক্যাথোডের গাযে জমিয়া যায়। ঋণাত্মক SO_4^{--} আয়ন অ্যানোডে যাইয়া তড়িৎ মোক্ষণ করিয়া SO_4 মূলকে পরিণত হইয়া জলের উপর ক্রিয়া করিয়া H_2SO_4 পুনর্গঠন করে এবং O_2 মুক্ত হয়। O_2 অ্যানোডের কপারের উপর ক্রিয়া করিয়া CuO গঠন করে যথা $Cu + O = CuO$। CuOর উপর H_2SO_4 ক্রিয়া করিয়া $CuSO_4$ গঠন করে যথা $CuO + H_2SO_4 = CuSO_4 + H_2O$। সমীকরণ হইতে দেখা

যায় এক পরমাণু কপার ক্যাথোডে সঞ্চিত হইলে এক পরমাণু কপার অ্যানোড হইতে পৃথক হয়। ক্যাথোডের উপর সঞ্চিত কপার = অ্যানোড হইতে ক্ষয়িত কপার।

দ্রষ্টব্য : যদি কপার ছাড়া অন্য পদার্থ যথা প্লাটিনাম বা কারবন ক্যাথোড-রূপে ব্যবহৃত হয় তবে SO_4^{--} আয়ন অ্যানোডে যাইয়া তড়িৎ মোক্ষিত হয় এবং SO_4 মূলক জলের সহিত ক্রিয়া করিয়া H_2SO_4 গঠন করে ও O_2কে মুক্ত করে যথা $SO_4 + H_2O = H_2SO_4 + O$

(গ) **সিল্‌ভার ভোল্টামিটার : যন্ত্র :** একটি সিল্‌ভারের বা প্লাটিনামের পাত্র (cup) Vতে সিল্‌ভার নাইট্রেট ($AgNO_3$) দ্রবণে (১০০ ঘঃ সেঃমিঃ পরিস্রুত জলে ১৫ হইতে ২০ গ্রাম $AgNO_3$) সিলভার দণ্ড R ডোবান থাকে। R দণ্ড অ্যানোড, V পাত্র ক্যাথোড গঠন করে। S যোজক-স্ক্রু ও S^1 যোজক-স্ক্রু যথাক্রমে ব্যাটারির + ও − প্রান্ত-বন্ধনীর সঙ্গে যোগ করা থাকে। S যোজক-স্ক্রু R দণ্ডের সহিত এবং S^1 যোজক-স্ক্রু V পাত্রের সহিত ধাতব সংযোগে থাকে।



১১৮ নং চিত্র—সিল্‌ভার ভোল্টামিটার

R দণ্ডের চারিধারে একটি মস্‌লিন থলি K থাকে। R দণ্ডে কোন অশুদ্ধ পদার্থ (impurity) থাকিলে সিল্‌ভার দ্রবীভূত হইবার সময় অশুদ্ধিগুলি থলিতে আটকাইয়া যাইবে কিন্তু থলির মধ্য দিয়া প্রবাহ চলিয়া যাইবে। প্রত্যেক বর্গ সেঃ মিঃ ক্ষেত্রফলে ·০৩ অ্যাম্পিয়ার প্রবাহ যাওয়া উচিত যাহাতে ক্যাথোডে সঞ্চিত সিলভারের স্তর খুব পুরু হয়।

পদ্ধতি : V পাত্রকে পরিষ্কার ও শুষ্ক করিয়া ওজন কর। ইহাকে ভোল্টামিটারে রাখিয়া নির্দিষ্ট সময় প্রবাহ পাঠাও। ষ্টপ-ঘড়ির সাহায্যে

সময় দেখ। V ক্যাথোড পাত্রে সিল্‌ভার জমে। পাত্রকে পুনরায় ওজন কর। দুই ওজনের পার্থক্য = সঞ্চিত সিল্‌ভারের ওজন = W গ্রাম।

$$\therefore \quad i = \frac{W}{\cdot ০০১১১৮৩ \times t}$$

ক্রিয়া: জলে সিল্‌ভার নাইট্রেট দ্রবীভূত করিলে $AgNO_3$ অণু Ag^+ ও NO_3^- আয়নে বিশ্লিষ্ট হয়। তড়িচ্চালক বল প্রয়োগ করিলেই Ag^+ আয়ন ক্যাথোডে গিয়া তড়িৎ মোক্ষণ করিলে সিল্‌ভার V পাত্রে জমা হয়। NO_3^- আয়ন সিল্‌ভার অ্যানোডে যাইয়া তড়িৎ মোক্ষণ করিয়া $AgNO_3$ গঠন করে। এই $AgNO_3$ জলে দ্রবীভূত হয়। সুতরাং দ্রবণের মাত্রা ঠিকই থাকে। কেবল সিল্‌ভার অ্যানোড হইতে ক্যাথোডে সঞ্চালিত হয়।

সিল্‌ভার ভোল্টামিটারের দ্বারা খুব নির্ভুলভাবে প্রবাহ বা E.C.E. মাপা যায়। তবে কপার ভোল্টামিটার দ্বারা মোটামুটি ফল পাওয়া যায়।

৯৬। **তড়িৎ-বিশ্লেষণের সূত্র পরীক্ষা** (Verification of the Laws of Electrolysis) :—

(ক) ক্যাথোডকে শিরিষ কাগজ দিয়া ঘষিয়া প্রথমে পাতলা HNO_3 দ্বারা পরে পরিস্রুত জল দ্বারা ধুইয়া ধূলিমুক্ত উষ্ণ বায়ুতে শুষ্ক ও পরে ঠাণ্ডা করিয়া ওজন কর। ক্যাথোডকে ভোল্টামিটারের স্বস্থানে রাখিয়া ষ্টপ-ঘড়ির সাহায্যে সময় দেখিয়া t_1 সেকেণ্ড বর্তনীতে প্রবাহ i_1 পাঠাও। পরে ক্যাথোডকে পুনরায় পরিস্রুত জল দ্বারা উত্তমরূপে ধুইয়া, শুষ্ক ও ঠাণ্ডা করিয়া ওজন কর। দুই ওজনের পার্থক্য = ক্যাথোডে সঞ্চিত কপারের ওজন = W গ্রাম (মনে কর)।

(খ) এইবার প্রবাহ-মাত্রা পূর্বের মান i_1তে রাখিয়া সময় t_1 সেকেণ্ড হইতে t_2 সেকেণ্ডে পরিবর্তন কর। পূর্ব প্রণালী অনুযায়ী ক্যাথোডে সঞ্চিত কপারের ওজন বাহির কর। মনে কর t_2 সেকেণ্ডে W_2 গ্রাম কপার জমে।

গণনায় দেখা যায় যে $\frac{W_1}{W_2} = \frac{t_1}{t_2}$ $\therefore W \propto t$ যখন প্রবাহ i ধ্রুবক থাকে।

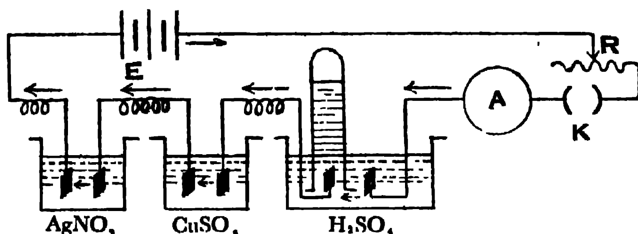
(গ) এবার প্রবাহের মান i_1 হইতে i_2তে পরিবর্তন করিয়া t_1 সেকেণ্ড

প্রবাহ পাঠাও। পূর্বের মত সঞ্চিত কপারের ওজন বাহির কর। মনে কর t, সেকেণ্ডে i_2 প্রবাহ পাঠাইলে সঞ্চিত কপারের ওজন $= W_2$ গ্রাম হয়।

গণনায় দেখা যায় $\frac{W_1}{W_2} = \frac{i_1}{i_2}$ $\therefore$ $W \propto i$ যখন সময় t ধ্রুবক হয়।

$\therefore$ $W \propto i.t$ $\therefore$ প্রথম সূত্র প্রমাণিত হয়।

দ্বিতীয় সূত্র : প্রথম সূত্রের পরীক্ষায় বর্তনীতে কপার ভোল্টামিটারের সঙ্গে একটি সিল্‌ভার ভোল্টামিটার ও একটি জল ভোল্টামিটার শ্রেণীতে যোগ কর। নির্দিষ্ট সময় (মনে কর t_1 সেকেণ্ড) E ব্যাটারি হইতে বর্তনীতে প্রবাহ



১১৯ নং চিত্র—দ্বিতীয় সূত্র পরীক্ষা

পাঠাও। পূর্বের মত ক্যাথোডে সঞ্চিত রূপার ও কপারের ওজন লও এবং অংশাঙ্কিত নলে সঞ্চিত হাইড্রোজেনের আয়তন লও। ৯৫ (ক) নং অনুচ্ছেদের গণনা অনুসারে প্রমাণ উষ্ণতায় ও চাপে হাইড্রোজেনের আয়তন বাহির কর। এই আয়তনের হাইড্রোজেনের ওজন বাহির কর। মনে কর সঞ্চিত কপারের ওজন $= W_1$ গ্রাম, সঞ্চিত সিল্‌ভারের ওজন $= W_2$ গ্রাম ও সঞ্চিত হাইড্রোজেনের ওজন $= W_3$ গ্রাম।

গণনায় দেখা যায় যে $W_1 : W_2 : W_3$ :: কপারের তুল্যাঙ্ক ওজন : সিল্‌ভারের তুল্যাঙ্ক ওজন : হাইড্রোজেনের তুল্যাঙ্ক ওজন। অর্থাৎ মুক্ত আয়নের ওজন $W \propto$ তুল্যাঙ্ক ওজন যখন i ও t ধ্রুবক হয়।

$\therefore$ দ্বিতীয় সূত্র প্রমাণিত হইল।

সাবধানতা : (ক) ক্যাথোডগুলিকে উত্তমরূপে পরিষ্কার করিবে নচেৎ

+ আয়নগুলি ক্যাথোডে আটকাইবে না। (খ) প্রত্যেক ইলেকট্রোলাইটের বেলায় দ্রবণে ইলেকট্রোলাইটের মাত্রা উপযুক্ত পরিমাণ হওয়া দরকার। (গ) প্রত্যেক ভোল্টামিটারে ক্যাথোডের ক্ষেত্রফলের সহিত প্রবাহের পরিমাণের একটি বিশিষ্ট অনুপাতে ক্যাথোডে + আয়ন দৃঢ়ভাবে জমে। (ঘ) ভাল ষ্টপ-ঘড়ির সাহায্যে সময় ঠিকমত নির্ণয় করা দরকার। অন্ততঃ ৩০ মিনিট প্রবাহ পাঠান দরকার। ইহাতে আয়নও বেশী জমা হয়। সুতরাং সময়ের পঠনে ও আয়নের ওজনে শতকরা ভুল কম হয়। (ঙ) প্রত্যেক পরীক্ষায় একই সময়ের জন্য তিনবার পরীক্ষার ফলের গড় বাহির করিয়া সূত্রগুলি নিভুলভাবে প্রমাণ করা হয়।

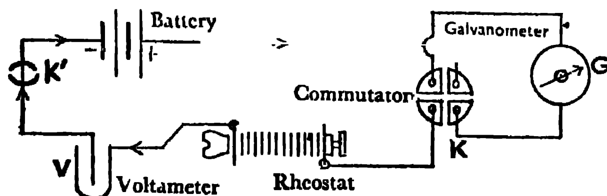
৯৭। Tan-গ্যাল্ভ্যানোমিটারের লঘু গুণক (Reduction Factor) নির্ণয়ঃ

নীতিঃ মনে কর একই প্রবাহ i একটি গ্যাল্ভ্যানোমিটার ও একটি কপার ভোল্টামিটারের মধ্য দিয়া t সময় যাইলে গ্যাল্ভ্যানোমিটারের বিক্ষেপ $=\theta^{\circ}$ হয় এবং ক্যাথোডে সঞ্চিত কপারের ওজন $=W$ গ্রাম হয়। আমরা জানি $i=10K\tan\theta$। এখানে $K=$ গ্যাল্ভ্যানোমিটারের লঘুগুণক এবং $W=Z.i.t.$ এখানে $Z=$ কপারের রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক ও $t=$ প্রবাহের সময়।

$$\therefore \quad K=\frac{W}{10.Z.t.\tan\theta}$$

পরীক্ষাঃ একটি কপার ভোল্টামিটার V, রিওষ্টেট R, কমিউটেটের K, প্লাগ চাবি K′, গ্যাল্ভ্যানোমিটার G ও ব্যাটারি E শ্রেণীতে যোগ কর। গ্যাল্ভ্যানোমিটারকে স্ক্রু ঘুরাইয়া লেভেল কর যাহাতে চুম্বক অংশাঙ্কিত চাকতির কেন্দ্রে বেশ স্বাধীনভাবে ঘুরিতে পারে। কুণ্ডলীর তলকে চৌম্বক মধ্যরেখায় আন। ভোল্টামিটারে আসল ক্যাথোড তুলিয়া একটি নকল ক্যাথোড রাখ এবং রিওষ্টেটকে এমনভাবে ব্যবস্থিত কর যাহাতে গ্যালভ্যানোমিটারের বিক্ষেপ ৪৫°র কাছাকাছি হয়। এখন আসল ক্যাথোডকে ৯৫ (খ) নং প্রণালীর মত

পরিষ্কার, শুষ্ক ও ওজন করিয়া ভোল্টামিটারে রাখ। প্রথমে t সেকেণ্ড ধরিয়া i প্রবাহ বর্তনীতে পাঠাও। তৎপরে কমিউটেটরের সাহায্যে কেবল গ্যাল্ভ্যানোমিটারের মধ্য দিয়া প্রবাহের অভিমুখ বদলাও। আবার t সেকেণ্ড



১১৯ নং চিত্র—লঘুগুণক নির্ণয়

i প্রবাহ বর্তনীর মধ্য দিয়া পাঠাও। প্রবাহ বন্ধ কর। ক্যাথোড তুলিয়া ধুইয়া ও শুষ্ক করিয়া ওজন কর। মনে কর দুই ওজনের পার্থক্য W গ্রাম। সূচী-চুম্বকের বিক্ষেপের গড় বিক্ষেপ লও। উপরোক্ত সমীকরণে W, t, Z ও $\tan\theta$ জানা যায়। ∴K গণনা করা যায়।

৯৭। আয়নের আধান: আমরা জানি ৯৬৫০০ কুলম্ব (৯৬৫০ e.m. একক) যে কোন একযোজী (monovalent) মৌলের এক গ্রাম-তুল্যাঙ্ক ওজন মুক্ত করে। আধুনিক মতানুসারে তড়িৎ-বিশ্লেষণে আয়নগুলি আধান বহন করে।

∴ ধনাত্মক আয়নের আধান=ঋণাত্মক আয়নের (ইলেক্ট্রোনের) আধান।

যদি একযোজী মৌলের এক গ্রাম-তুল্যাঙ্ক ওজনে পরমাণুর সংখ্যা=n হয় এবং প্রত্যেক পরমাণু (আয়নের) আধান=e হয় তবে ne=৯৬৫০০ কুলম্ব। নানা উপায়ে nএর মান নির্ণীত হইয়া n=৬·১৬×১০^২৩ হইয়াছে। ∴ একযোজী মৌলের প্রত্যেক আয়নের আধান=এক ইলেক্ট্রোনের আধান

$=\frac{৯৬৫০০}{৬\cdot১৬\times১০^{২৩}}$=১·৫৭×১০^{-১৯} কুলম্ব=৪·৭×১০^{-১০} e.s.u. দ্বিযোজী ও ত্রিযোজী আয়নের আধান যথাক্রমে 2e ও 3e হইবে। মনে রাখিবে আয়ন =পরমাণু+আধান; ইলেকট্রোন=আধান।

অঙ্ক: I. A current of 5 amperes is passed for 5 hours through three voltameters arranged in series containing solutions of copper sulphate, silver nitrate, sulphuric acid. Calculate the masses of silver, copper and hydrogen obtained given that E.C.E of silver = ·001118 gm-coloumb, at. wt. of silver = 107·88 ; at. wt. of copper = 63·57, at. wt. of Hydrogen = 1·008. (P. U. 1944)

৫ ঘণ্টায় (৫ × ৬০ × ৬০ সেকেণ্ডে) প্রবাহিত মোট তড়িতের পরিমাণ = ৫ × ৫ × ৬০ × ৬০ = ৯০,০০০ কুলম্ব কারণ ১ অ্যাম্পিয়ার ১ সেকেণ্ড চলিলে ১ কুলম্ব তড়িৎ প্রবাহিত হয়।

১ কুলম্ব ·০০১১১৮ গ্রাম সিলভার মুক্ত করে।

∴ ৯০,০০০ কুলম্ব (·০০১১১৮ × ৯০০০০ =) ১০০·৬২ গ্রাম সিলভার মুক্ত করে।

∴ মুক্ত হাইড্রোজেনের ভর $= \frac{১০০·৬২ \times ১·০০৮}{১০৭·৮৮} =$ ·৯৪ গ্রাম।

∴ মুক্ত কপারের ভর $= \frac{১০০·৬২ \times ৬৩·৫৭}{২ \times ১০৭·৮৮} =$ ২৯·৬৫ গ্রাম।

কারণ কপার দ্বিযোজী।

2. Calculate the value of the current required to deposit 1·6 gm of silver in 2 hours. (B. U. 1927)

$$W = i.z.t \quad \therefore i = \frac{W}{z.t.} = \frac{১·৬}{·০০১১১৮ \times (২ \times ৬০ \times ৬০)} = ·১৯৮ \text{ অ্যা:}$$

৯৯। **সঞ্চয়ক কোষ** (Storage Cell) বা **সঞ্চয়ক** (Accumulator):

নীতি: আমরা পূর্বে (৮নং (গ) অনুচ্ছেদে) দেখিয়াছি যে ভোল্টীয় কোষে রাসায়নিক ক্রিয়ায় উৎপন্ন H_2 গ্যাস কপার তড়িৎদ্বারে জমিলে কোষে একটি বিপরীত তড়িচ্চালক বলের উদ্ভব হয়। যদি ব্যাটারির তড়িচ্চালক বল = E ভোল্ট হয় এবং বিপরীত তড়িচ্চালক বল = e ভোল্ট হয় এবং সর্বসমেত রোধ = R ওহম হয়

তবে প্রবাহ $i=\frac{E-e}{R}$; জল ভোল্টামিটারে বিপরীত তড়িচ্চালক বলের মান= ১'৪৭ ভোল্ট হয়।

কতকগুলি ভোল্টামিটারে যথা জল ভোল্টামিটারে ক্যাথোডে H_2 গ্যাস জমিয়া বিপরীত তড়িচ্চালক বলের উদ্ভব হয়। এইরূপ ছদন ক্রিয়ার কারণ তড়িৎ ধনাত্মক পাতে তড়িৎ ঋণাত্মক মৌলের সঞ্চয় কিংবা তড়িৎ ঋণাত্মক পাতে তড়িৎ ধনাত্মক মৌলের সঞ্চয়। মনে রাখিবে কপার ভোল্টামিটারে কপার ক্যাথোডের উপর কপার সঞ্চয় হয় সুতরাং তড়িৎ-দ্বারের প্রকৃতির কোন পরিবর্তন হয় না সেইজন্য কপার ভোল্টামিটারে কোন ছদন ক্রিয়ার বা বিপরীত তড়িচ্চালক বলের উদ্ভব হয় না। সঞ্চয় কোষ নির্মাণে ভোল্টামিটারের বিপরীত তড়িচ্চালক বলের সাহায্য লওয়া হয়। প্রথমে বাহিরের ব্যাটারি হইতে ভোল্টামিটারে প্রবাহ পাঠান হয়। ইহাকে **আহিত করণ** (Charging) বলে। ইহার ফলে তড়িৎ-দ্বারে ছদন ক্রিয়া হয় এবং দুই তড়িৎ-দ্বারে বিভব-ভেদ সৃষ্টি হয়। ইহাতে তড়িৎশক্তি রাসায়নিক স্থৈতিক শক্তিতে পরিণত হইয়া কোষে **সঞ্চিত থাকে**। এখন ব্যাটারির সংযোগ ছিন্ন করিয়া ভোল্টামিটারের তড়িৎ-দ্বারকে একটি তার দিয়া যোগ করিলে প্রথম প্রবাহের বিপরীত দিকে একটি প্রবাহ পাওয়া যায় অর্থাৎ সঞ্চিত রাসায়নিক শক্তি তড়িৎশক্তিতে পরিণত হয়। সেইজন্য এই সব কোষকে **সঞ্চয় কোষ** বলে।

কোষের বিবরণ: আধুনিক যন্ত্রে পাতলা H_2SO_4 অম্লে কতকগুলি সীসার সমান্তরাল পাত থাকে। পর্যায়ক্রমে পাতগুলি দুইটি তড়িৎ-দ্বারের সঙ্গে সংযুক্ত থাকে। পাতগুলিতে ঝাঁঝরার মত (grid) জালি থাকে। ঝাঁঝরার ফাঁকগুলি লিথার্জ (litharge) PbO কিংবা রেডলেড Pb_3O_4 দিয়া ভর্তি করা থাকে।

ক্রিয়া: (i) আহিত করণের পূর্বে PbO ও অম্ল ক্রিয়া করিয়া দুই দ্বারে $PbSO_4$ গঠন করে।



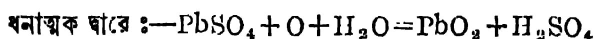
$PbO+H_2SO_4=PbSO_4+H_2O$ বা



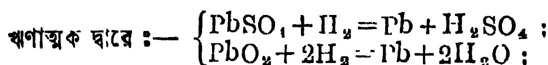
$$Pb_3O_4 + 2H_2SO_4 = PbO_2 + 2PbSO_4 + H_2O.$$

সুতরাং প্রথমাবস্থায় দুই দ্বারে PbO_2 ও $PbSO_4$ থাকে।

(ii) আহিত করণের সময় জলের তড়িৎ বিশ্লেষণ হইয়া ধনাত্মক দ্বারে O_2 ও ঋণাত্মক দ্বারে H_2 উদ্ভূত হইয়া নিম্নলিখিত ক্রিয়া করে :—



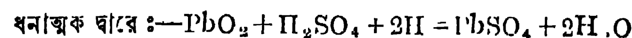
ধনাত্মক দ্বারে :—$PbSO_4 + O + H_2O = PbO_2 + H_2SO_4$



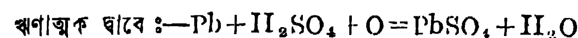
ঋণাত্মক দ্বারে :— $\begin{cases} PbSO_4 + H_2 = Pb + H_2SO_4 ; \\ PbO_2 + 2H_2 = Pb + 2H_2O ; \end{cases}$

সুতরাং ধনাত্মক দ্বার PbO_2 দ্বারা আবৃত হয় এবং ঋণাত্মক দ্বার ঝাঝরা (spongy) সীসা Pbতে পরিণত হয়। দ্বার দুইটিতে ছদন ক্রিয়া হয় এবং Pb হইতে PbO_2তে বিপরীত তড়িচ্চালক বলের উদ্ভব হয়।

(iii) মূল প্রবাহ ছিন্ন করিয়া দুই দ্বারকে তার দিয়া সংযোগ কর। তারের মধ্য দিয়া PbO_2 হইতে Pbতে প্রবাহ চলে এবং PbO_2তে H_2 গ্যাস ও Pbতে O_2 গ্যাস বাহির হয় এবং নিম্নলিখিত ক্রিয়া হয় :—



ধনাত্মক দ্বারে :—$PbO_2 + H_2SO_4 + 2H = PbSO_4 + 2H_2O$



ঋণাত্মক দ্বারে :—$Pb + H_2SO_4 + O = PbSO_4 + H_2O$

সুতরাং যখন কোষ মোক্ষিত হয় তখন দুই দ্বারেই $PbSO_4$ হয় এবং উহা পূর্বাবস্থায় ফিরিয়া আসে।

মনে রাখিবে :—(১) আহিত করণের সময় H_2SO_4 গঠিত হয় সুতরাং H_2SO_4এর আপেক্ষিক গুরুত্ব বাড়িয়া যায়। মোক্ষণের সময় H_2O গঠিত হয় সুতরাং H_2SO_4এর আপেক্ষিক গুরুত্ব কমিয়া যায়। কিন্তু কোন সময়েই আপেক্ষিক গুরুত্ব ১·১৮র কম হইতে দেওয়া উচিত নয়। (২) পূর্ণ আহিত কোষের সর্বোচ্চ বিভব ২·২ ভোল্ট হয়। বিভব ১·৮ ভোল্টের কম হইতে দেওয়া উচিত নয়। (৩) কোষের আভ্যন্তরীণ রোধ খুব কম সুতরাং কোষের বহিরোধ বাড়াইবার জন্য কখনও মোটা পরিবাহী দিয়া সংযোগ করিবে না। (৪) মাঝে মাঝে পরিস্রুত জল কোষে দিবে। সঞ্চয় কোষ ট্রেণের আলো জ্বালিতে, পরীক্ষাগারের কার্য্যে ও অন্তর্দাহ এঞ্জিনে ব্যবহৃত হয়।

১০০। **তড়িৎ-বিশ্লেষণের ব্যবহার**: তড়িৎ বিশ্লেষণ নানা শিল্পে ব্যবহৃত হয় যথা ঃ

(ক) **তাড়িৎলেপন** (Electroplating) : ইহাতে একটি ধাতব দ্রব্যের উপর অন্য ধাতুর (যথা, নিকেল, রূপা, কপার, সোণা) পাতলা স্তর ধীরে ধীরে জমিতে দেওয়া হয়। ধাতব দ্রব্যকে পর পর NaOH ও HClএর পাতলা দ্রবণ দিয়া ধুইয়া তামার তার দিয়া তড়িৎ গাহে (Bath) ডুবান হয়। গাহে যে ধাতব দ্রব্যকে লেপন করা হয় তাহাকে ক্যাথোড এবং যে ধাতুকে লেপিত করা হয় তাহাকে অ্যানোড করা হয়। গাহে যে ধাতু লেপিত হয় সেই ধাতুর কোন লবণের দ্রবণ থাকে। যথা, লোহার দ্রব্যের উপর নিকেল লেপনের সময় গাহে নিকেল সাল্‌ফেট দ্রবণ থাকে। লোহার দ্রব্যকে ক্যাথোড ও নিকেল ধাতুকে অ্যানোড করা হয়।

সোণার লেপনে (Electro-gilding) নিম্নলিখিত দ্রবণ ব্যবহার করা হয় ; $AuCl_3$ ১ভাগ, KCN ১০ ভাগ ও জল ২০০ ভাগ। রূপার লেপনে (Electro-silvering) নিম্নলিখিত দ্রবণ ব্যবহার করা হয়, $AgCN_2$ ১ ভাগ. KCN ২ভাগ, জল ৫০ ভাগ ও কয়েক ফোঁটা CS_2

(খ) **ধাতুর লেপন দ্বারা ছাঁচ প্রস্তুত** (Electrotyping) : ধাতুর উপর ব্লক ও অক্ষরের ছাঁচ প্রস্তুত হয়।

(গ) আকরিক হইতে তড়িৎ-বিশ্লেষণ দ্বারা ধাতু শোধন করা হয় ; যথা, Cu, Au, Ag. (ঙ) তড়িৎ-বিশ্লেষণ দ্বারা কোন যৌগে কোন ধাতুর শতকরা তৌলিক ভাগ নির্ণয় করা যায়। (চ) তড়িৎ-বিশ্লেষণ দ্বারা প্রবাহ মাপ করা যায়।

প্রশ্ন

1. Describe a water voltameter and explain how would you use it for the verification of the laws of electrolysis. (C. U. 1916).

2. State Faraday's laws of electrolysis and explain how you can verify them with the help of a copper voltameter. Discuss the steps

in the process and state what precautions are to be taken to ensure good results. (C. U. 1944).

3. State the laws of electrolysis and describe experiments to verify them. (C. U. 1917, '40, '44 ; Pat. 1936, '38, '42, '44 ; Dac. 1927 ; All. 1927, '45, '50).

4. What do you understood by the electro-chemical equivalent of of an element ? (Bom. 1930 ; Pat. 1929, '30, '33, '38, '42).

5. Calculate the strength of the current that is to be sent for an hour through an electrolytic cell containing silver nitrate solution for depositing 0 805 gm. of silver on the cathode (E. C. E. of silver= 0·00118 gm/coulomb. (C. U. 1940).

6. Describe an arrangement for obtaining oxygen by the decomposition of water. Point out the most important difference between electrical conduction in metals and in solutions. (C. U. 1920).

7. How would you determine which is the positive and which is the negative terminal of a voltaic battery by (*a*) the magnetic effects and (*b*) the electro-chemical effects of currents. (All. 1925).

8. Without measuring currents by means of their magnetic force Faraday was able to prove experimentally that the amount of chemical action occuring in an electrolytic cell is proportional to the quantity of electricity passing through it. Show how this can be done. (Pat. 1926).

9. Explain clearly how you would find experimentally the ratio of the electro-chemical equivalents of hydrogen and copper. (C. U. 1930 ; All. '30 ; Pat. '45).

10. State the laws of electrolysis and show how they may be applied to measure the strength of an electric currents. (Pat. 1937, '47 ; C. U. 1937).

তড়িৎ-চুম্বকীয় আবেশ (Electro-Magnetic Induction)

১০১। **আবিষ্ট প্রবাহ** (Induced Currents): আমরা পূর্বে দেখিয়াছি যে যে কোন চুম্বকের বা তড়িৎবাহী তারের চতুর্দিকে একটি চৌম্বকক্ষেত্র সৃষ্ট হয়। ১৮৩১ খৃষ্টাব্দে ফ্যারাডে পরীক্ষা করিয়া দেখান যে নিম্নলিখিত তিনটি উপায়ে কোন **কোষের সাহায্য ব্যতিরেকে** কোন অন্তরিত তারের বদ্ধ কুণ্ডলীতে (closed coil or solenoid) ক্ষণস্থায়ী তড়িচ্চুম্বকীয় বল ও প্রবাহ উৎপন্ন করা যায়:—(i) যদি তারের কুণ্ডলীকে কোন স্থির চুম্বকের বা কোন স্থির তড়িৎবাহী তারের চারিপাশের চৌম্বকক্ষেত্রে নাড়ান যায়। (ii) যদি কোন চুম্বক বা তড়িৎবাহী তারকে স্থির কুণ্ডলীর চারিপাশে নাড়ান যায়। (iii) যদি কুণ্ডলীকে নিকটে রাখিয়া তড়িৎবাহী তারে প্রবাহ-মাত্রা বাড়ান বা কমান যায়। যদি কুণ্ডলী ও চুম্বক বা তড়িৎবাহী তারের মধ্যে আপেক্ষিক গতি না থাকে অর্থাৎ যদি উভয়েই স্থির থাকে তবে কোন প্রবাহ উৎপন্ন হয় না। এই ক্ষণস্থায়ী তড়িচ্চালক বলকে **আবিষ্ট তড়িচ্চালক বল** এবং এই ক্ষণস্থায়ী প্রবাহকে **আবিষ্ট প্রবাহ** বলে। এই ঘটনাকে **তড়িচ্চুম্বকীয় আবেশ** বলে। তারের কুণ্ডলী যাহাতে আবিষ্ট প্রবাহ উৎপন্ন হয় তাহাকে **গৌণ-কুণ্ডলী** (Secondary coil) বলে। তড়িৎবাহী কুণ্ডলীকে **মুখ্য কুণ্ডলী** (Primary coil) বলে। পদার্থ বিদ্যায় ফ্যারাডের শ্রেষ্ঠ আবিষ্কার খুব মূল্যবান ও দরকারী আবিষ্কার। এই আবিষ্কারের জন্য বড় বড় শিল্পে তড়িতের ব্যবহার সম্ভবপর হইয়াছে।

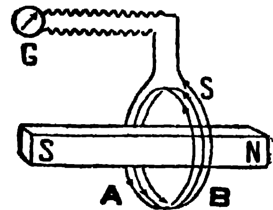
১০২। **আবিষ্ট প্রবাহের উৎপত্তি: (১) চুম্বক দ্বারা: পরীক্ষা**, (ক) ধাতব অন্তরিত সরু তারের কুণ্ডলী Sর কিছুদূরে অবস্থিত একটি সুবেদী গ্যালভ্যানোমিটার Gর সঙ্গে তার দিয়া Sএর সংযোগ কর। একটি চুম্বকের উত্তর মেরুNকে কুণ্ডলীর **নিকটে ধীরে ধীরে** লইয়া আন। গ্যালভ্যানোমিটারের কাঁটাকে ধীরে ধীরে বিক্ষিপ্ত হইতে দেখা যাইবে। ইহাতে বোঝা যায় গৌণ কুণ্ডলীর মধ্য দিয়া একটি **ক্ষীণ** প্রবাহ চলে।

(খ) চুম্বককে **থামাও**। গ্যাল্‌ভ্যানোমিটারের কাঁটা ০° ডিগ্রিতে ফিরিয়া আসে সুতরাং গৌণ কুণ্ডলী Sতে কোন প্রবাহ থাকে না। **যতক্ষণ চুম্বক গতিশীল থাকে ততক্ষণ গৌণকুণ্ডলীতে আবিষ্ট প্রবাহ চলে।**

(গ) চুম্বককে কুণ্ডলীর **নিকটে খুব তাড়াতাড়ি** লইয়া যাও। গ্যাল্‌ভ্যানোমিটারের কাঁটা সবেগে বেশী বিক্ষিপ্ত হয়। সুতরাং আবিষ্ট প্রবাহ খুব **তীব্র** হয়।

(ঘ) চুম্বককে **ধীরে ধীরে** কুণ্ডলী হইতে **দূরে** লইয়া যাও। গ্যাল্‌ভ্যানোমিটারের কাঁটা ধীরে ধীরে **বিপরীত** অভিমুখে বিক্ষিপ্ত হয়। সুতরাং গৌণ কুণ্ডলীতে একটি **বিপরীত ক্ষীণ** প্রবাহ চলে।

(ঙ) চুম্বককে **খুব তাড়াতাড়ি দূরে** লইয়া যাইলে গ্যাল্‌ভ্যানোমিটারের কাঁটা তাড়াতাড়ি **বিপরীত** অভিমুখে বিক্ষিপ্ত হয়। সুতরাং গৌণ কুণ্ডলীতে **বিপরীত তীব্র** প্রবাহ চলে।



১১৭ নং চিত্র— চুম্বক দ্বারা আবিষ্ট প্রবাহ

(চ) চুম্বকের উত্তর মেরু ও দক্ষিণ মেরু পৃথকভাবে কুণ্ডলীর মধ্যে প্রবেশ করাইলে গ্যাল্‌ভ্যানোমিটারের কাঁটা বিপরীত দিকে বিক্ষিপ্ত হয়। সুতরাং আবিষ্ট প্রবাহের অভিমুখ দুই ক্ষেত্রে বিপরীত হয়।

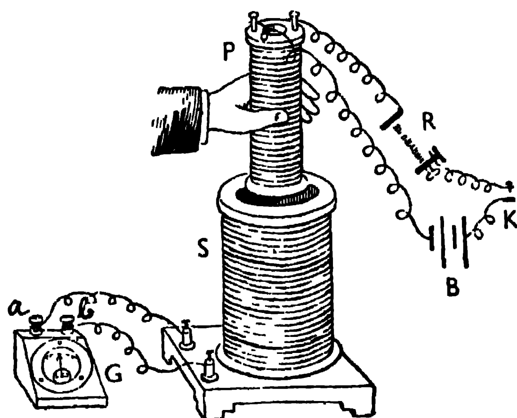
(ছ) চুম্বককে স্থির রাখিয়া কুণ্ডলীকে তাড়াতাড়ি বা ধীরে ধীরে চুম্বকের কাছে আনিলে পূর্বের মত একই সাময়িক ফল পাওয়া যায়।

(জ) শক্তিশালী চুম্বক লইয়া আসিলে কিংবা গৌণ কুণ্ডলীতে তারের পাক বাড়াইলে আবিষ্ট প্রবাহের মাত্রা বাড়িয়া যায় এবং গ্যাল্‌ভ্যানোমিটারের বিক্ষেপ বাড়িয়া যায়।

এই সকল পরীক্ষা হইতে প্রমাণ হয় যে **আবিষ্ট প্রবাহের অস্তিত্ব ও মাত্রা চুম্বক বা কুণ্ডলীর পারস্পারিক গতির বেগের উপর নির্ভর করে।**

(২) **প্রবাহ দ্বারা: পরীক্ষা:** একটি বড় ফাঁপা চোঙাকৃতি কাঠের

S ফ্রেমে সরু অন্তরিত তামার তারের বহু পাক জড়াইয়া তারের দুই প্রান্ত একটি সুবেদী G গ্যাল্‌ভ্যানোমিটারের দুই বন্ধনীর a ও bর সঙ্গে যোগ কর। ইহাকে **গৌণ কুণ্ডলী** বলে। অপর একটি অপেক্ষাকৃত ছোট ফাঁপা চোঙাকৃতি কাঠের P ফ্রেমে মোটা আন্তরিত তামার তারের কয়েক পাক জড়াইয়া তারকে



১১৭ নং চিত্র—প্রবাহ দ্বারা আবিষ্ট প্রবাহ।

ব্যাটারি B, চাবি K ও রিওষ্টেট Rএর সঙ্গে যোগ কর। ইহাকে **মুখ্য কুণ্ডলী** বলে। P কুণ্ডলীকে S কুণ্ডলীর মধ্যে সম্পূর্ণরূপে প্রবেশ করান যায়।

পরীক্ষা: (ক) প্রথমে S গৌণ কুণ্ডলীর বর্তনীতে একটি রিওষ্টেট ও কোষ সংযোগ করিয়া কুণ্ডলীতে প্রবাহের অভিমুখ নির্ণয় কর। মনে কর প্রবাহ বামাবর্তে চলিতেছে। এখন গ্যাল্‌ভ্যানোমিটারের কাঁটার বিক্ষেপের অভিমুখ দেখ। নিম্নের পরীক্ষাগুলিতে গ্যাল্‌ভ্যানোমিটারের কাঁটা এই অভিমুখে বিক্ষিপ্ত হইলে বুঝিবে S কুণ্ডলীতে প্রবাহ বামাবর্তী হয়। কাঁটা বিপরীত দিকে বিক্ষিপ্ত হইলে বুঝিবে প্রবাহ দক্ষিণাবর্তী হয়। এখন কোষ ও রিওষ্টেট তুলিয়া লও।

(খ) প্রথমে K চাবি তুলিয়া লইয়া Pকে Sএর মধ্যে প্রবেশ করাও। তৎপরে Kকে আটিয়া দিয়া বর্তনীকে সম্পূর্ণ কর। গ্যাল্‌ভ্যানোমিটারের কাঁটা নিমেষের

জন্য বিক্ষিপ্ত হইয়া পুনরায় স্বস্থানে ফিরিয়া আসে। কাঁটার বিক্ষেপের অভিমুখ হইতে দেখা যায় যে Pতে প্রবাহের অভিমুখ ও Sতে আবিষ্ট প্রবাহের অভিমুখ বিপরীত (inverse) হয়, সুতরাং বর্তনী সম্পূর্ণ করিবার মুহূর্তে (at make) Sতে **বিপরীতমুখী সাময়িক প্রবাহ** উৎপন্ন হয়।

(গ) Pকে Sএর ভিতর রাখিয়া K চাবি তুলিয়া বর্তনী ছিন্ন কর। গ্যাল্‌ভ্যানোমিটারের কাঁটা (খ) পরীক্ষার মত বিপরীত দিকে নিমেষের জন্য বিক্ষিপ্ত হয়। সুতরাং বর্তনী ছিন্ন করিবার মুহূর্তে (at break) Sতে Pর প্রবাহের **সমমুখী সাময়িক** (direct) **প্রবাহ** উৎপন্ন হয়।

(ঘ) Pকে **দূরে** লইয়া যাও। বর্তনী সম্পূর্ণ কর। **তাড়াতাড়ি** Pকে Sএর মধ্যে রাখ। গ্যাল্‌ভ্যানোমিটারের সাময়িক বিক্ষেপ হইতে বোঝা যায় যে Sতে Pএর প্রবাহের **বিপরীতমুখী সাময়িক প্রবাহ** উৎপন্ন করা হয়।

(ঙ) Pকে Sএর ভিতর হইতে খুব **তাড়াতাড়ি দূরে** লইয়া যাও। গ্যাল্‌ভ্যানোমিটারের কাঁটার সাময়িক বেশী বিক্ষেপ দেখিয়া বোঝা যায় যে Sতে Pএর **প্রবাহের সমমুখী সাময়িক তীব্র প্রবাহ** উৎপন্ন হয়।

(চ) তড়িৎবাহী কুণ্ডলী Pকে ধীরে ধীরে Sএর ভিতর হইতে দূরে লইয়া যাইলে বা ধীরে ধীরে Sএর ভিতর লইয়া যাইলে (ঘ) ও (ঙ) পরীক্ষার মত একই অভিমুখে কাঁটা বিক্ষিপ্ত হইবে কিন্তু বিক্ষেপের মাত্রা কম হইবে।

(ছ) P কুণ্ডলীকে স্থির রাখিয়া S কুণ্ডলীকে Pএর নিকট আনিলে বা দূরে লইয়া যাইলে একই ফল পাওয়া যায়।

(জ) বর্তনী সম্পূর্ণ করিয়া Pকে Sএর ভিতর রাখ। Rকে এদিক-ওদিক সরাইয়া Pএর প্রবাহের মাত্রা হঠাৎ বাড়াও বা কমাও। দেখ যে Pতে হঠাৎ প্রবাহ মাত্রা বাড়াইলে বা কমাইলে বৃদ্ধির সময় বা হ্রাসের সময় Sতে যথাক্রমে বিপরীতমুখী ও সমমুখী সাময়িক প্রবাহ উৎপন্ন হয়।

Pএর ফাঁকের মধ্যে এক গোছা কাচা লোহার তার রাখিলে উপরের পরীক্ষায় আবিষ্ট প্রবাহের মাত্রা বাড়িয়া যায়।

সারাংশ—

আবিষ্ট প্রবাহ উৎপত্তির উপায়	S গৌণ কুণ্ডলীতে আবিষ্ট E. M. F ও প্রবাহ	
	সাময়িক বিপরীতমুখী	সাময়িক সমমুখী
চুম্বক	যখন S কুণ্ডলীর নিকট আসে।	যখন S কুণ্ডলী হইতে সরিয়া যায়
প্রবাহ	(ক) Pতে বর্তনী সম্পূর্ণ হইবার মুহূর্তে	(ক) Pতে বর্তনী ছিন্ন হইবার মুহূর্তে
	(খ) যখন P নিকটে আসে	(খ) যখন P দূরে যায়
	(গ) যখন Pতে প্রবাহ মাত্রা বাড়ে	(গ) যখন Pতে প্রবাহ মাত্রা কমে

দ্রষ্টব্য :—প্রবাহের অভিমুখ মনে রাখিবার সরল নিয়ম : বলরেখার বর্ধন—**বিপরীত ; স্বল্প—সমমুখী।**

১০৩। **আবিষ্ট প্রবাহের উৎপত্তির কারণ :** উপরের পরীক্ষাগুলির ফল বিশ্লেষণ করিলে দেখা যায় যে একই নীতি সমস্ত পরীক্ষাগুলিকে নিয়ন্ত্রিত করিতেছে, যথা :—S কুণ্ডলীর মধ্য দিয়া অতিক্রান্ত (embraced) চুম্বকের বা মুখ্য প্রবাহের দরুণ উৎপন্ন চৌম্বক বলরেখার সংখ্যার পরিবর্তন আবিষ্ট প্রবাহের উৎপত্তির কারণ।

১০৪। **ফ্লাক্স (Flux) :** একটি কুণ্ডলীর মধ্য দিয়া অতিক্রান্ত মোট চুম্বকীয় বলরেখার সংখ্যাকে flux বলা হয়। ধরা যাক একটি চুম্বকীয় ক্ষেত্রের এক বর্গ সেণ্টিমিটারের মধ্য দিয়া H চুম্বকীয় বলরেখা প্রবেশ করিতেছে। ঐ

কুণ্ডলীটির প্রস্থচ্ছেদ (cross section) A বঃ সেঃ মিঃ, ঐ কুণ্ডলীটিতে n পাক প্রত্যেক সেণ্টিমিটারে বিদ্যমান আছে, আর কুণ্ডলীটি l সেণ্টিমিটার দীর্ঘ সুতরাং প্রত্যেক পাকের প্রস্থচ্ছেদের ভিতর দিয়া HA চুম্বকীয় বলরেখা অতিক্রম করে। আর কুণ্ডলীর প্রতি সেণ্টিমিটারে AHn বলরেখা বর্তমান, আর সমস্ত কুণ্ডলীটিতে সর্বসমেত HAnl চুম্বকীয় বলরেখা বর্তমান আছে অতএব HAnl = ঐ কুণ্ডলীটির মধ্য দিয়া অতিক্রান্ত বলরেখা বা ফ্লাক্স।

১০৫। ফ্যারাডের তড়িচ্চুম্বকীয় আবেশের সূত্র (Faraday's Law of Electro Magnetic Induction)**:** ফ্যারাডে উপরোক্ত পরীক্ষা হইতে আবিষ্কার করেন :—

প্রথম সূত্র ঃ (ক) যখন কোন গৌণ সংহত বর্তনীর (তড়িৎ উৎসহীন) মধ্য দিয়া অতিক্রান্ত চৌম্বক বলরেখার সংখ্যা পরিবর্তিত হয় তখন গৌণ বর্তনীতে একটি আবিষ্ট তড়িচ্চালক বলের সৃষ্টি হয় এবং আবিষ্ট প্রবাহ চলে। (খ) যতক্ষণ বলরেখার সংখ্যার পরিবর্তন চলে ততক্ষণ প্রবাহ চলে। (গ) পরিবর্তনের সময় বলরেখার সংখ্যা **বৃদ্ধিতে** আবিষ্ট প্রবাহ **বিপরীতমুখী** (inverse) এবং বলরেখার সংখ্যা **হ্রাসে** আবিষ্ট প্রবাহ **সমমুখী** (direct) হয়।

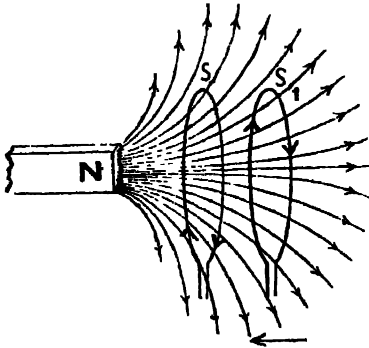
দ্বিতীয় সূত্র ঃ—আবিষ্ট তড়িচ্চালক বলের (induced E. M. F.) পরিমাণ কুণ্ডলীর মধ্য দিয়া অতিক্রান্ত বলরেখার পরিবর্তনের **হারের** সমানুপাতিক হইবে।

ব্যাখ্যা : প্রথম সূত্র : মনে কর ডানদিক হইতে দেখিলে একটি P পাকের মুখ্য কুণ্ডলীতে বামাবর্তে প্রবাহ চলিতেছে। ২০ অণুচ্ছেদে আমরা দেখিয়াছি যে, যে কুণ্ডলীর মুখে প্রবাহ বামাবর্তী হয় সেই মুখ N মেরুর মত আচরণ করে। সুতরাং P কুণ্ডলীর ডান মুখের বলরেখার বিস্তৃতি ও N মেরুর বলরেখার বিস্তৃতি এক প্রকার হইবে।

১১৮ ও ১১৯ চিত্র হইতে দেখা যায় যে চার প্রকারে Sএর মধ্য দিয়া অতিক্রান্ত বলরেখার সংখ্যা বৃদ্ধি হয় যথা :—

(i) Pকে বা Nকে স্থির রাখিয়া Sকে P বা Nএর নিকট আনিলে।

(ii) Sকে স্থির রাখিয়া Pকে বা Nকে Sর নিকট আনিলে।

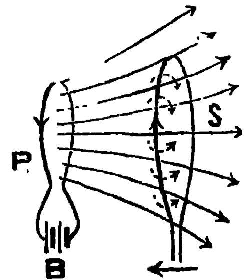


১১৮ নং চিত্র—বলরেখার দ্বারা আবিষ্ট প্রবাহের ব্যাখ্যা।

(iii) Pতে কোন প্রবাহ না চলিলে কোন বলরেখা থাকে না, সুতরাং বর্তনী সম্পূর্ণ করিলে বলরেখার সংখ্যা বৃদ্ধি হয়।

(iv) Pতে প্রবাহ মাত্রা বাড়াইলে বা Nএর স্থলে অন্য শক্তিশালী চুম্বক ব্যবহার করিলে Pর বা Nএর বলরেখার সংখ্যা বৃদ্ধি পায়। সুতরাং Sএর মধ্য দিয়া অতিক্রান্ত বলরেখার সংখ্যা বৃদ্ধি পায়। চিত্র হইতে ইহা স্পষ্ট বোঝা যায়। ১০২ অণুচ্ছেদের পরীক্ষায় দেখিয়াছি যে উপরোক্ত চারিটি ক্ষেত্রে সাময়িক বিপরীতমুখী আবিষ্ট প্রবাহ উৎপন্ন হয় সুতরাং উপরোক্ত চারিটি কারণে S গৌণ কুণ্ডলীতে বলরেখার **সংখ্যা বৃদ্ধিতে বিপরীতমুখী** প্রবাহ উৎপন্ন হয়।

চিত্র হইতে দেখা যায় যে নিম্নলিখিত চারি প্রকারে Sএর মধ্য দিয়া অতিক্রান্ত **বলরেখার সংখ্যা কমিয়া যায়**:—



১১৯ নং চিত্র—বলরেখার দ্বারা আবিষ্ট প্রবাহের ব্যাখ্যা।

(i) Pকে বা Nকে স্থির রাখিয়া Sকে P বা N হইতে দূরে লইয়া যাইলে।

(ii) Sকে স্থির রাখিয়া Pকে বা Nকে S হইতে দূরে লইয়া যাইলে।

(iii) Pতে হঠাৎ প্রবাহ বন্ধ করিলে বলরেখা একবারে অন্তর্হিত হয়।

(iv) Pতে প্রবাহের মাত্রা কমাইলে। ১০২নং অণুচ্ছেদের পরীক্ষায় আমরা

দেখিয়াছি যে উপরোক্ত চারিটি কারণে S কুণ্ডলীতে বলরেখার সংখ্যা হ্রাসে সমমুখী প্রবাহ উৎপন্ন হয়।

আবার যখন S ও P বা N ও S স্থির থাকে তখন S দ্বারা অতিক্রান্ত বলরেখার কোন হ্রাস-বৃদ্ধি হয় না সুতরাং S কুণ্ডলীতে কোন প্রবাহ চলে না।

দ্বিতীয় সূত্র ঃ নং অনুচ্ছেদের পরীক্ষায় দেখিয়াছি যে P কুণ্ডলীকে যত তাড়াতাড়ি S কুণ্ডলীর মধ্যে প্রবেশ করান যায় বা N চুম্বককে যত তাড়াতাড়ি S কুণ্ডলীর মধ্যে প্রবেশ করান যায় তত প্রবাহ মাত্রা বেশী হয়। আমরা জানি ওহম সূত্রানুসারে যত E. M. F. বেশী হয় তত প্রবাহমাত্রা বেশী হয় সুতরাং আবিষ্ট E. M. F.এর মাত্রা বলরেখার পরিবর্তনের হারের উপর নির্ভর কর।

গণনা ঃ মনে কর গৌণ কুণ্ডলীতে তারের একটি পাক আছে। মনে কর কোনও সময়ে পাকের মধ্য দিয়া N_1 সংখ্যক চৌম্বক বলরেখা অতিক্রম করে এবং t সেকেণ্ড পরে N_2 বলরেখা অতিক্রম করে

$$\therefore \text{ বলরেখার পরিবর্তনের হার} = \frac{N_1 - N_2}{t}$$

দ্বিতীয় সূত্রানুসারে গড় আবিষ্ট E. M. F. $(e) \propto \frac{N_1 - N_2}{t}$

$$\therefore \quad e = k.\frac{N_1 - N_2}{t}$$

তড়িচ্চুম্বকীয় পদ্ধতিতে (e.m u) $k = 1$

$$\therefore \quad e = \frac{N_1 - N_2}{t}.$$

এখন N_2 অপেক্ষা N_1 কম বা বেশী হইতে পারে।

(i) যদি $N_1 > N_2$ হয় তবে $N_1 - N_2$ ধনাত্মক হইবে অর্থাৎ বলরেখার সংখ্যার বৃদ্ধি হইবে। প্রথম সূত্রানুসারে আবিষ্ট প্রবাহ সুতরাং আবিষ্ট E. M. F. বিপরীতমুখী হয়।

উপযুক্ত চিহ্ন দিলে $-e=\frac{N_1-N_2}{t}$ বা $e=-\frac{N_1-N_2}{t}=-\frac{N}{t}$

(মনে কর)

(ii) যদি $N_1 < N_2$ হয় তবে N_1-N_2 ঋণাত্মক হইবে অর্থাৎ বলরেখা সংখ্যা কমিবে। এক্ষেত্রে E. M. F. সমমুখী হয়।

$$\therefore \quad e=\frac{N_1-N_2}{t}=-\frac{N}{t}.$$

যদি মুখ্যকুণ্ডলীতে পাকের সংখ্যা n হয় এবং প্রত্যেক পাকে N বলরেখা অতিক্রম করে তবে কুণ্ডলীর মোট বলরেখা বা ফ্লাক্স $=nN$ হয়

$\therefore$ আবিষ্ট E. M. F. $=-\frac{nN}{t}$ (e. m. u. এককে)

যেহেতু ১ ভোল্ট $=$ ১০^{৮} e. m u. একক

$\therefore$ E. M. F. (ভোল্টে) $=-\frac{Nn}{t}\times\frac{1}{১০^{৮}}$ ভোল্ট।

$\therefore$ $e=\frac{\text{ফ্লাক্সের মোট পরিবর্তন}}{\text{সেকেণ্ডে সময়}}$ (e.m.u.) $=\frac{\text{ফ্লাক্সের মোট পরিবর্তন}}{১০^{৮}\times\text{সেকেণ্ডে সময়}}$ ভোল্ট।

সমীকরণ হইতে পাওয়া যায় যে আবিষ্ট E. M. F. তিনটি বিষয়ের উপর নির্ভর করে: (i) চৌম্বকক্ষেত্রের তীব্রতা (strength), (ii) গৌণ কুণ্ডলীতে পাকের সংখ্যা, (iii) বলরেখার পরিবর্তনের হার। যদি রোধ $=R$ (e. m. u. একক) হয় তবে আবিষ্ট প্রবাহ $i=\frac{e}{R}=-\frac{N.n}{Rt}$।

১০৬। আবিষ্ট E. M. F. এর মাত্রা বৃদ্ধি: (ক) গৌণ কুণ্ডলীর পাকের সংখ্যা বৃদ্ধি করিলে, (খ) মুখ্য কুণ্ডলীর মধ্যে নরম লোহা রাখিলে, (গ) মুখ্য কুণ্ডলীকে গৌণ কুণ্ডলীর মধ্যে রাখিয়া তাড়াতাড়ি মুখ্য কুণ্ডলীর বর্তনীকে সংহত বা ছিন্ন করিলে-এই তিন উপায়ে চুম্বকীয় বলরেখার পরিবর্তনের হার বৃদ্ধি পায় সেইজন্য আবিষ্ট E. M. F.ও বৃদ্ধি পায়। প্রথম উপায়ে খুব

সরু তারের বহু সংখ্যক পাক ব্যবহার করিলে রোধ বেশী হইবে। প্রবাহ কম হইবে কিন্তু E. M. F. খুব বেশী হইবে।

১০৭। **আবিষ্ট প্রবাহের অভিমুখ নির্ণয়ঃ** দুইটি সূত্রের দ্বারা আবিষ্ট প্রবাহের অভিমুখে নির্ণীত হয়।

(১) **লেঞ্জের সূত্রঃ** (Lenz's Law): সকল প্রকার তড়িচ্চৌম্বকীয় আবেশের ক্ষেত্রে আবিষ্ট প্রবাহের অভিমুখ এমন হইবে যে কারণে প্রবাহের উৎপত্তি হয় সেই কারণকে এই অভিমুখ বাধা দিবে। এই কারণগুলি দুই কুণ্ডলীর (S ও P) বা একটি চুম্বক N ও S কুণ্ডলীর পারস্পরিক গতি কিংবা মুখ্য কুণ্ডলীর প্রবাহের হ্রাস বৃদ্ধি ইত্যাদি।

ব্যাখ্যাঃ (ক) মনে কর কোন চুম্বকের বা সলিনয়েডের N মেরু S গৌণ কুণ্ডলীর নিকট যাইতেছে। এখানে আবিষ্ট প্রবাহের কারণ হইল গৌণ কুণ্ডলীর দিকে N মেরুর গতি। সূত্রানুসারে S গৌণ কুণ্ডলীতে আবিষ্ট প্রবাহের অভিমুখ এরূপ হইবে যে এই প্রবাহের দরুণ উৎপন্ন মেরু N মেরুর গতিকে বাধা দিবে। আমরা জানি দুইটি সমজাতীয় মেরুর মধ্যেই বিকর্ষণ হয় অর্থাৎ পরস্পর দূরে ঠেলিয়া দেয়। সুতরাং S কুণ্ডলীর সামনের দিকে (অর্থাৎ অগ্রগামী চুম্বকের দিকে) মেরুর উদ্ভব হয় অতএব S কুণ্ডলীর সামনের দিকে প্রবাহ বামাবর্তী হয় কিন্তু চুম্বকের বা সলিনয়েডের N মেরুর প্রবাহকে একই দিক হইতে দেখিলে দক্ষিণাবর্তী দেখাইবে সুতরাং আবিষ্ট প্রবাহের অভিমুখ বিপরীতমুখী হয়।

(খ) N মেরু যখন S কুণ্ডলী হইতে দূরে যায় তখন আবিষ্ট প্রবাহের অভিমুখ এমন হয় যে উহারা পরস্পর আকর্ষণ করে। পূর্বোক্ত বিচারের দ্বারায় দেখাইতে পারা যায় যে আবিষ্ট প্রবাহ সমমুখী হয়।

(গ) যখন P কুণ্ডলী S কুণ্ডলীর নিকটে আসে তখন সূত্রানুসারে S কুণ্ডলীতে আবিষ্ট প্রবাহের এমন অভিমুখ হইবে যে উহারা পরস্পরকে দূরে ঠেলিয়া দিবে অর্থাৎ বিকর্ষণ করিবে। কিন্তু আমরা জানি দুইটি বিপরীতমুখী

প্রবাহের মধ্যে বিকর্ষণ ঘটে। সুতরাং আবিষ্ট প্রবাহ মূল প্রবাহের বিপরীতমুখী হয়।

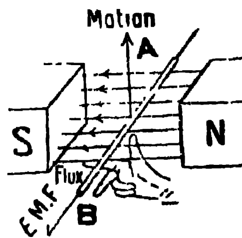
(ঘ) যখন P কুণ্ডলী দূরে যায় তখন S কুণ্ডলীতে সমমুখী প্রবাহ হয় কারণ দুই সমমুখী প্রবাহ আকর্ষণ করে। এইরূপ প্রবাহের সৃষ্টি বা অবসান প্রভৃতি সব ক্ষেত্রেই লেঞ্জের সূত্রানুসারে প্রবাহের অভিমুখ পাওয়া যায়।

শক্তির নিত্যতা সূত্র ও লেঞ্জের সূত্র: (ক) মনে কর P হইতে S দূরে যাইতেছে এবং আবিষ্ট প্রবাহ সমমুখী না হইয়া বিপরীতমুখী হইতেছে। বিপরীতমুখী প্রবাহের মধ্যে বিকর্ষণ হয় সুতরাং P হইতে Sকে একটু গতিশীল করিয়া দিলে উহা ক্রম বর্ধমান গতিতে দূরে চলিতে থাকিবে এবং S কুণ্ডলীতে গতীয় শক্তি তথা তড়িৎ-শক্তি ক্রমশঃ বৃদ্ধি পাইবে। অন্য কোন শক্তি খরচ না করিয়া চৌম্বকক্ষেত্রে একটি পরিবাহীর এইরূপ অনন্ত গতি (perpetual motion) সম্পন্ন হইয়া তড়িৎ-শক্তি সরবরাহ করিতে পারে না। ইহা শক্তির নিত্যতা সূত্রের বিরুদ্ধে যায়। সুতরাং এই ক্ষেত্রে আবিষ্ট প্রবাহের অভিমুখ সমমুখী হয়।

(খ) আমরা জানি একটি শক্তি সৃষ্টি করিতে হইলে অপর একটি শক্তি খরচ করা দরকার। আবিষ্ট প্রবাহ (তড়িৎ শক্তি) কোথা হইতে আসে? লেঞ্জের সূত্র হইতে ইহার উত্তর পাওয়া যায়। মনে কর P হইতে Sকে দূরে লওয়া হইতেছে। Sতে ও Pতে প্রবাহ সমমুখী হয়। সমমুখী প্রবাহ পরস্পর আকর্ষণ করে। সুতরাং P হইতে Sকে দূরে লইয়া যাইতে এই আকর্ষণের বিরুদ্ধে কাজ করিতে হয়। এই যান্ত্রিক কাজ = আকর্ষণ বল × Sকে যে দূরত্ব লওয়া হয়। এই যান্ত্রিক কাজই আবিষ্ট প্রবাহের তড়িৎ শক্তিতে রূপান্তরিত হয়। আবার যখন Pএর কাছে S আসে তখন Sতে Pএর বিপরীতমুখী প্রবাহ উৎপন্ন হয়। বিপরীতমুখী প্রবাহ পরস্পর বিকর্ষণ করে। সুতরাং ইহাদিগকে কাছে আনিতে হইলে কাজ করিতে হয়। এই অতিরিক্ত যান্ত্রিক কাজ তড়িৎ-শক্তিতে রূপান্তরিত হয়।

(২) **ফ্লেমিংয়ের দক্ষিণ হস্ত নিয়ম:** দক্ষিণ হস্তের তর্জনী, মধ্যমা ও

বৃদ্ধাঙ্গুষ্ঠ এমনভাবে প্রসারিত কর যে প্রত্যেকটি অপর দুইটির উপর লম্বভাবে থাকে। যদি তর্জনী চুম্বকীয় বলরেখার বা ফ্লাক্সের অভিমুখ এবং বৃদ্ধাঙ্গুষ্ঠ যদি পরিবাহীর গতির অভিমুখ নির্দেশ করে তবে মধ্যমা আবিষ্ট তড়িচ্চালক বলের তথা প্রবাহের অভিমুখ নির্দেশ করিবে। মনে কর একটি শক্তিশালী তড়িৎ চুম্বকের উত্তর (N) ও দক্ষিণ (S) মেরুর মধ্যে একটি ধাতব তার AB রাখ। চৌম্বক বলরেখা (flux) উত্তর মেরু হইতে দক্ষিণ মেরুতে যায়। এখন AB তারকে নীচে হইতে উপর দিকে বলরেখার উপর লম্বভাবে সরাও। এখন AB তারে একটি আবিষ্ট E.M.F. সৃষ্ট হয়। A উচ্চ বিভবে থাকে। এখন A হইতে Bতে একটি আবিষ্ট প্রবাহ চলে। এখন যদি দক্ষিণ হস্তের তর্জনী বলরেখার এবং বৃদ্ধাঙ্গুষ্ঠ AB তারের গতির অভিমুখ নির্দেশ করে তবে মধ্যমা AB তারে আবিষ্ট প্রবাহের অভিমুখ নির্দেশ করিবে।



১২০ নং চিত্র—ফ্লেমিংয়ে দক্ষিণ হস্ত নিয়ম

১০৮। প্রবাহ ও চৌম্বকীয় ক্ষেত্রের সম্পর্কীয় নিয়মের সারাংশ :

(ক) কর্ক-স্ক্রু নিয়ম রৈখিক প্রবাহের চৌম্বকীয় বলরেখার অভিমুখ নির্ণয় করে। (খ) ফ্লেমিংয়ের বাম হস্ত নিয়ম চৌম্বকীয় ক্ষেত্রে প্রবাহের গতির অভিমুখ নির্ণয় করে। (গ) ফ্যারাডের নিয়ম আবিষ্ট তড়িচ্চুম্বকীয় বল ও বলরেখার পরিবর্তনের হারের সম্পর্ক নির্ণয় করে। (ঘ) লেঞ্জের ও ফ্লেমিংয়ের দক্ষিণ হস্ত নিয়ম আবিষ্ট তড়িচ্চুম্বকীয় বল বা প্রবাহের অভিমুখ নির্ণয় করে।

১০৯। আবেশ (Induction) : আবেশ দুই প্রকারে উৎপন্ন হয়।

(১) পারস্পারিক আবেশ (Mutual Induction) : **পৃথক একটি** প্রবাহ বা চুম্বকের ক্রিয়ার সাহায্যে গৌণকুণ্ডলীতে কোন চৌম্বক বলরেখার সংখ্যা পরিবর্তন করিয়া আবিষ্ট প্রবাহের উৎপত্তির ঘটনাকে **পারস্পারিক আবেশ** বলে। উপরোক্ত তড়িচ্চুম্বকীয় পরীক্ষাগুলি পারস্পারিক আবেশের দৃষ্টান্ত। পারস্পারিক আবেশের সর্ত হইল যে একটি তড়িচ্চালক বল সংযুক্ত মুখ্য কুণ্ডলীর

নিকট কিংবা একটি চুম্বকের নিকটে একটি অনেক তারের পাক যুক্ত বৃহত্তর গৌণ কুণ্ডলী থাকা চাই; P মুখ্য কুণ্ডলী, S গৌণ কুণ্ডলী কিন্তু দুই কুণ্ডলীর যে কোনটি মুখ্য বা গৌণ হইতে পারে।

পারস্পারিক আবেশাঙ্ক (Coefficient of Mutual Induction or Mutual Inductance): ইহার দুইটি সংজ্ঞা :—(ক) মুখ্য কুণ্ডলীতে এক একক প্রবাহ চলিলে গৌণ কুণ্ডলীতে যে ফ্লাক্সের সৃষ্টি হয় তাহাকে **পারস্পারিক আবেশাঙ্ক** বলে।

N = Mi এখানে i = মুখ্য কুণ্ডলীর মধ্য দিয়া প্রবাহ মাত্রা (e. m u, C.G.S. একক)। N = ফ্লাক্স, M = পারস্পারিক আবেশাঙ্ক।

(খ) গৌণ কুণ্ডলীতে একক প্রবাহ চলিলে মুখ্য কুণ্ডলীতে যে **আবিষ্ট** E.M.F. এর সৃষ্টি হয় তাহার মাত্রাকে **পারস্পারিক আবেশাঙ্ক** বলে।

$$\text{আবেশাঙ্ক } M = \frac{\text{আবিষ্ট E.M.F (মুখ্য কুণ্ডলীতে e.m.u. এককে)}}{\text{গৌণ কুণ্ডলীতে t সেকেণ্ডে প্রবাহ মাত্রার পরিবর্তনের হার}}$$

$$= \frac{e}{i/t} \quad \therefore \quad e = \frac{Mi}{t}.$$

যখন প্রবাহমাত্রা বাড়ে তখন E.M.F. বিপরীতমুখী এবং প্রবাহমাত্রা কমে তখন E.M.F. সমমুখী হয়।

(২) **স্বাবেশ** (Self Induction): কোন একটি নির্দিষ্ট কুণ্ডলীতে প্রবাহমাত্রার হ্রাস-বৃদ্ধিতে কুণ্ডলীর ভিতরে চুম্বকীয় বলরেখার পরিবর্তনে আবিষ্ট প্রবাহের উৎপত্তির ঘটনাকে **স্বাবেশ** বলে।

প্রবাহ-সৃষ্টি (make) ও **বৃদ্ধি** : যখন অনেক পাকযুক্ত কুণ্ডলীতে কোষ ও চাবির সাহায্যে প্রবাহ চালু করা হয় তখন কুণ্ডলীতে প্রবাহমাত্রা শূন্য মান হইতে খুব কম সময়ের মধ্যে একটি নির্দিষ্ট মানে পৌঁছায় : সুতরাং এই সময়ের মধ্যে চৌম্বক বলরেখার সংখ্যা শূন্য হইতে একটি নির্দিষ্ট সংখ্যায়

পৌঁছায়। অতএব প্রবাহমাত্রার বৃদ্ধির সঙ্গে সঙ্গে কুণ্ডলীর মধ্যে বলরেখার সংখ্যা ক্রমশঃ বৃদ্ধি পায়। ইহার ফলে বর্তনীতে একটি আবিষ্ট E.M.F এর এবং প্রবাহের উৎপত্তি হয়। লেঞ্জের সূত্রানুসারে আবিষ্ট E.M.F বা প্রবাহ মূল E.M.F বা প্রবাহের বিপরীতমুখী হয়। সুতরাং আবিষ্ট বিপরীত E.M.F. এর জন্য মূল প্রবাহ নির্দিষ্ট মানে বর্তনী সংবৃত (closed) করিবামাত্র পৌঁছায় না, একটু দেরীতে পৌঁছায়। যখন মূল প্রবাহ নির্দিষ্ট মানে পৌঁছায় তখন আবিষ্ট E.M.F অন্তর্হিত হয়, কারণ তখন বলরেখার সংখ্যা নির্দিষ্ট মানে পৌঁছাইয়া যায়। ইহার কোন পরিবর্তন হয় না। প্রবাহমাত্রার বৃদ্ধিতে একই ঘটনা ঘটে।

প্রবাহ-লুপ্তি (break) বা হ্রাস : যখন কুণ্ডলীতে প্রবাহ বন্ধ করা হয় তখন অকস্মাৎ বলরেখাগুলি শূন্য মানে আসে। এই আকস্মিক হ্রাসের পরিবর্তনে মূল প্রবাহের সমমুখী একটি তীব্র আবিষ্ট E.M.F ও প্রবাহের সৃষ্টি হয়। সুতরাং প্রবাহ লুপ্তির সঙ্গে সঙ্গে প্রবাহ বন্ধ হয় না। একটু পরে হয়। এই আবিষ্ট সমমুখী প্রবাহকে **অতিরিক্ত প্রবাহ** (Extra current) বলে। ইহার ফলে যে বিন্দুতে প্রবাহ ছিন্ন হয় সেই বিন্দুতে অতিরিক্ত প্রবাহ স্ফুলিঙ্গ (spark) রূপে দেখা দেয়। তড়িৎ পাখা, আলো বা মটর বন্ধ করিবার সময় এইরূপ স্ফুলিঙ্গ দেখা যায়। মটর যানে স্ফুলিঙ্গ-কুণ্ডলীতে (spark coil) স্বাবেশের দ্বারা স্ফুলিঙ্গ উৎপাদন করা হয়। রোধ-কুণ্ডলীর পাকগুলি (ক) স্বাবেশ শূন্য করার জন্য অন্তরিত তারকে ডবল করিয়া জড়ানো হয়।

দুই আবেশের ব্যবহারিক একক : এই এককে **হেন্‌রি** (Henry) বলে। কোন কুণ্ডলীতে এক সেকেণ্ডে এক অ্যাম্পিয়ার হারে প্রবাহমাত্রা পরিবর্তিত হইলে যদি ঐ কুণ্ডলীর প্রান্তদেশে এক ভোল্ট E.M.F উৎপন্ন হয় তবে আবেশের একক এক হেন্‌রি হয়।

$$\therefore \text{১ হেন্‌রি} = \frac{\text{১ ভোল্ট}}{\text{১ সেকেণ্ডে ১ অ্যাম্পিয়ার}} = \frac{১০^{৮}\ \text{e.m.u.}}{১০^{-১}\ \text{e.m.u.}} = ১০^{৯}\text{e.m.u}$$

আবেশের পরীক্ষা: একটি কুণ্ডলীকে ব্যাটারি, চাবি ও গ্যালভ্যানোমিটারের সঙ্গে যোগ কর। চাবিকে টিপিয়া বর্তনী সংহত কর।

বলরেখার বৃদ্ধির জন্য বিপরীতমুখী E.M.F সৃষ্ট হইয়া মূল প্রবাহকে দুর্বল করে সেইজন্য সূচী-চুম্বকের বিক্ষেপ আস্তে আস্তে বাড়িয়া নির্দিষ্ট মানে আসে। বর্তনী ছিন্ন করিবার মুহূর্তে সমমুখী E.M.F এর জন্য সূচী-চুম্বকের বিক্ষেপ সাময়িক ভাবে হঠাৎ একদিকে বাড়িয়া যায়।

১১০। ঘূর্ণী প্রবাহ (Eddy বা Foucault Current)**:** কোন চৌম্বক ক্ষেত্রে একখণ্ড ধাতুকে অনবরতঃ ঘুরাইতে থাকিলে ধাতুর ভিতর দিয়া অতিক্রান্ত চুম্বকীয় বলরেখার হ্রাস-বৃদ্ধি ঘটে এবং ধাতুর দেহের ভিতরে ঘূর্ণী প্রবাহের সৃষ্টি হয়। এখানে আবিষ্ট E.M.F খুব কম হইলেও ধাতুখণ্ডের রোধ খুব কম বলিয়া ঘূর্ণী প্রবাহ খুব তীব্র হয়। এই প্রবাহ জলের উপর ঘূর্ণী স্রোতের মত ধাতুর মধ্যে ঘুরিতে থাকে বলিয়া ইহাকে ঘূর্ণী প্রবাহ বলে।

পরীক্ষা: একটি পাটাতনের উপর অনুভূমিকভাবে একটি তামার চাকৃতি (disc) রাখা হয় এবং ইহাকে লম্বভাবে H হাতলের দ্বারা ঘুরান যায়। চাকতির উপর একটি কীলকের উপর একটি চুম্বক রাখা হয়। এখন চাকৃতি ঘুরাইলে চুম্বকও একই দিকে ঘুরিতে থাকিবে। চাকতির মধ্যে ঘূর্ণী প্রবাহের জন্য এইরূপ ঘটে।

১১১। রামকর্ফের আবেশ-কুণ্ডলী: (Rumkorff's Induction Coil)**:**

নীতি: এই যন্ত্রে মুখ্য কুণ্ডলীর সামান্য বিভবযুক্ত E.M.F বা প্রবাহ তাড়াতাড়ি সৃষ্টি ও বন্ধ করিয়া গৌণ কুণ্ডলীতে উচ্চ বিভবযুক্ত E.M.F উৎপন্ন করা হয়। এই যন্ত্রে গৌণ কুণ্ডলীতে সরু তারের অনেকগুলি পাক ব্যবহার করিয়া এবং মুখ্য কুণ্ডলীর মধ্যে একটি নরম লোহার (core) ব্যবহার করিয়া বলরেখার সংখ্যা বৃদ্ধি করা হয়। ইহাতে আবিষ্ট E. M. F খুব বৃদ্ধি পায়।

যন্ত্র: যন্ত্রে নিম্নলিখিত অংশ থাকে:

(ক) মুখ্য কুণ্ডলী (Primary Coil) : একটি ভাল অন্তরক পদার্থে (যেমন Vulcanite) নির্মিত ফাঁপা নলের উপর **মোটা** অন্তরিত তামার তার কয়েক পাকে সমভাবে (uniformly) জড়ান থাকে। প্রত্যেক পাক পরস্পর হইতে vulcanite দ্বারা পৃথক করা থাকে।

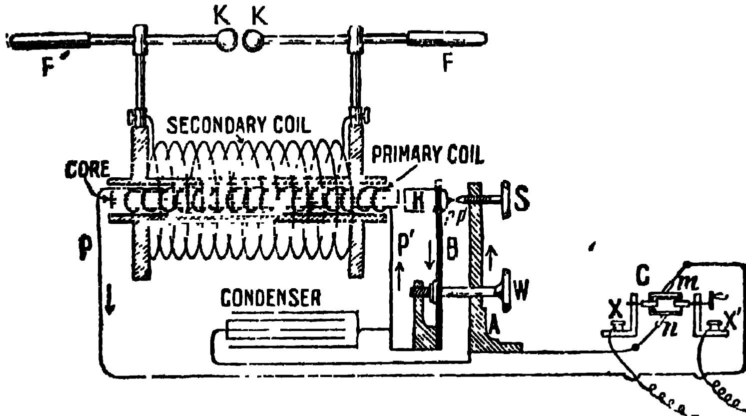
(খ) নরম লোহার গুচ্ছ (Core) : মুখ্য কুণ্ডলীর ফাঁপা নলের ভিতরে সমানভাবে কতকগুলি নরম লোহার তারের গোছা থাকে। ঘূর্ণী প্রবাহ বন্ধ করিবার জন্য তারগুলিকে পরস্পর হইতে অন্তরিত করা থাকে। নরম লোহার গুচ্ছ গৌণ কুণ্ডলীর বলরেখার সংখ্যা বৃদ্ধি করে এবং তড়িৎ চুম্বকের কাজ করে।

(গ) গৌণ কুণ্ডলী : ভাল অন্তরক পদার্থে নির্মিত বৃহত্তর ফাঁপা নলের উপর ভালভাবে **অন্তরিত সরু** তামার তারের **কয়েক সহস্র** পাক জড়ান থাকে। পাকগুলি কতকগুলি স্তরে জড়ান থাকে গৌণ কুণ্ডলীর পাকের মধ্যে মুখ্য কুণ্ডলীকে রাখা হয়। গৌণ কুণ্ডলীর পাকের প্রত্যেক স্তর বার্ণিশ বা গালা দিয়া খুব ভালভাবে অন্তরিত করা হয়। সর্বশেষে গৌণ কুণ্ডলীকে প্যারা-ফিনের মধ্যে ডুবান হয়। কুণ্ডলীর দুই প্রান্ত দুইটি মোক্ষণ বর্তুলে K K′এর (discharging knob) এর সঙ্গে যুক্ত করা হয়। F ও F′ ইবোনাইট হাতল ধরিয়া দুই বর্তুলের দূরত্ব কমান বা বাড়ান যায়। গৌণ কুণ্ডলীর তারের দৈর্ঘ্য এক মাইল হইলে স্ফুলিঙ্গের দৈর্ঘ্য এক ইঞ্চি হয়।

স্পর্শ ছেদক (Contact breaker) : এই স্বয়ংক্রিয় ব্যবস্থার দ্বারা মুখ্য বর্তনী পরপর দ্রুত সংহত ও ছিন্ন হয়। এই ব্যবস্থায় নিম্নলিখিত অংশ থাকে :—

(i) **হাতুড়ি** (Hammer) : B স্প্রিং-দণ্ডের মাথায় এক নরম লোহার হাতুড়ি H থাকে। হাতুড়ির পশ্চাতে একটি প্লাটিনাম স্পর্শ-বিন্দু p থাকে। B স্প্রিং দণ্ডের নীচের একটি স্ক্রু Wকে ঘুরাইয়া H হাতুড়িকে নরম লোহা হইতে একটু আগান বা পিছান যায়।

(ii) স্ক্রু—ধাতব S স্ক্রুটি Hএর সহিত একই রেখায় থাকে। S স্ক্রুর সম্মুখের দিকে একটি স্পর্শ বিন্দু p' আছে। S স্ক্রু একটি উলম্ব পিতলের দণ্ড Aর উপর স্থাপিত। S স্ক্রুকে ঘুরাইয়া p ও p' এর দূরত্ব কম-বেশী করা যায়।



১২১ নং চিত্র—রামকর্ফের আবেশ-কুণ্ডলী

ঘনীকারক (Condenser) : ইহাতে অনেকগুলি টিনের পাত (tin foil) থাকে। পাতগুলি পরস্পর হইতে প্যারাফিন সিক্ত কাগজ দ্বারা পৃথক করা থাকে। পাতগুলি পর্য্যায়ক্রমে থাকে যাহাতে ঘনীকারকের ধারকত্ব খুব বেশী হয়। ইহা মুখ্য কুণ্ডলীর রোধ, আবেশাঙ্ক প্রভৃতির উপর নির্ভর করে। সর্বশেষে একটি পাত B স্প্রিং দণ্ডের মধ্য দিয়া H হাতুড়ির সঙ্গে এবং অপর পাত A দণ্ডের মধ্য দিয়া S স্ক্রুর সহিত যুক্ত থাকে অর্থাৎ p ও p' বিন্দুর মধ্যে ঘনীকারক সমান্তরালে যুক্ত থাকে।

কমিউটেটর : এই যন্ত্র দিয়া মুখ্য কুণ্ডলীতে প্রবাহ চালু করা যায়, বন্ধ করা যায় বা প্রবাহের অভিমুখ উল্টান যায়।

ক্রিয়া : (ক) যন্ত্রের ক্রিয়া আরম্ভ করিবার জন্য কোন ব্যাটারির প্রান্ত-বন্ধনীর সহিত কমিউটেটরের X X' বিন্দুর যোগ করা হয়। মুখ্য কুণ্ডলীর এক প্রান্ত m স্প্রীংয়ের সঙ্গে ও অপর প্রান্ত B স্প্রীংয়ের সঙ্গে যুক্ত হয়। n স্প্রীং Sএর সঙ্গে

যুক্ত হয়। Sকে ঘুরাইয়া p ও p' বিন্দুকে স্পর্শ করান হয়। ইহাতে মুখ্য কুণ্ডলীতে বর্তনী সংহত হয়।

(খ) এখন মুখ্য কুণ্ডলীতে প্রবাহ যাইলে (i) নরম লোহার গুচ্ছ চুম্বকিত হয় এবং (ii) H হাতুড়িকে আকৃষ্ট করে। ইহাতে p ও p' বিন্দুর সংযোগ ছিন্ন হয় এবং প্রবাহ বন্ধ হয়। (iii) লোহার গুচ্ছ চুম্বকত্ব হারায় এবং Hকে আর আকৃষ্ট করে না। B স্প্রিং স্থিতিস্থাপকতার জন্য পূর্বস্থানে ফিরিয়া আসে, p ও p' বিন্দুর সংযোগ পুনরায় স্থাপিত হয়। বর্তনী আবার সংহত হয়। সুতরাং স্বয়ংক্রিয় ব্যবস্থায় হাতুড়ির এদিক-ওদিক গতিতে বর্তনী দ্রুত ছিন্ন ও সংহত হয়।

ক্রিয়ার ফল: (i) মুখ্য কুণ্ডলীতে প্রবাহ-সৃষ্টির সময় গৌণ কুণ্ডলীতে সাময়িক বিপরীতমুখী আবিষ্ট E. M. F.-এর ও প্রবাহের সৃষ্টি হয়। মুখ্য কুণ্ডলীতে নরম লোহার দরুণ ও গৌণ কুণ্ডলীতে পাকের সংখ্যা বৃদ্ধির দরুণ সর্বসমেত চুম্বকীয় বলরেখার সংখ্যা খুব বৃদ্ধি পায়। যতক্ষণ পর্যন্ত গৌণ কুণ্ডলীতে বলরেখা θ শূন্য মান হইতে নির্দিষ্ট সর্বোচ্চ মানে না পৌঁছায় ততক্ষণ এই আবিষ্ট E. M. F. ক্রিয়া করে। (ii) মুখ্য কুণ্ডলীতে প্রবাহ লুপ্তির সময় একই রীতিতে গৌণ কুণ্ডলীতে সমমুখী আবিষ্ট E.M.F.-এর সৃষ্টি হয়। আপাত দৃষ্টিতে মনে হয় এই দুই বিপরীতমুখী E. M. F. সমান কিন্তু মুখ্য কুণ্ডলীতে প্রবাহ-সৃষ্টির সময়ে স্বাবেশের জন্য প্রবাহ-লুপ্তির সময়ের আবিষ্ট E. M. F. খুব বেশী হয়। নিম্নলিখিতভাবে ইহা বুঝান যায়:—

(ক) প্রবাহ-সৃষ্টির সময় প্রবাহমাত্রা বাড়িবার সঙ্গে সঙ্গে স্বাবেশের জন্য মুখ্য কুণ্ডলীতে বিপরীতমুখী আবিষ্ট E. M. F. সৃষ্ট হইয়া মূল প্রবাহের বৃদ্ধির হার ব্যাহত করে অর্থাৎ প্রবাহের সর্বোচ্চ মানে আসিতে বেশী সময় লাগে। সুতরাং গৌণ কুণ্ডলীতে বলরেখার বৃদ্ধির হার কমিয়া যায়।

আমরা জানি $e = -\frac{N}{t}$। এখানে t বেশী হওয়ায় $\frac{N}{t}$ কমিয়া যায় সুতরাং বিপরীতমুখী আবিষ্ট E. M. F. (e) কমিয়া যায়।

(খ) প্রবাহ-লুপ্তির সময় দুইটি বিষয় বিবেচনা করিতে হয়: (i) প্রবাহ-লুপ্তির সময় p ও p' এর মধ্যে অনেকখানি বায়ুর ব্যবধানের (air-gap) জন্য খুব বেশী রোধ সৃষ্ট হয়। সুতরাং মুখ্য কুণ্ডলীতে প্রবাহ খুব তাড়াতাড়ি সর্বোচ্চ মান হইতে শূন্য মানে আসিয়া পড়ে সুতরাং প্রবাহ-লুপ্তির সময়কার বলরেখার হ্রাসের হার প্রবাহ-সৃষ্টির সময়কার বলরেখার বৃদ্ধির হারের চেয়ে অনেক বেশী হয়। সুতরাং লুপ্তির সময় সমমুখী আবিষ্ট E. M. F. বিপরীতমুখী আবিষ্ট E. M. F. এর চেয়ে অনেক বেশী হয়। (ii) লুপ্তির সময় মুখ্য কুণ্ডলীতে স্বাবেশের জন্য সমমুখী আবিষ্ট E. M. F. বা অতিরিক্ত প্রবাহ সৃষ্টি হওয়ার দরুণ মূল প্রবাহ-লুপ্তিতে বাধা দেয় অর্থাৎ লুপ্তির সময় t বাড়ে সুতরাং গৌণ কুণ্ডলীতে বলরেখার হ্রাসের হার $\left(\frac{N}{t}\right)$ কমিয়া যায় এবং সমমুখী আবিষ্ট E. M. F. কমিয়া যায়। (i) ও (ii) মিলিত ফলেও মোটের উপর লুপ্তির সময়কার সমমুখী E. M. F.ই অনেক বেশী হয়। আবার ঘনীকারক ব্যবহার করিয়া গৌণ কুণ্ডলীতে বিপরীতমুখী আবিষ্ট E. M. F. এর চেয়ে সমমুখী E. M. F. বাড়ান হয়। মুখ্য কুণ্ডলীতে প্রবাহ-লুপ্তির সময় স্বাবেশের দরুণ অতিরিক্ত প্রবাহের জন্য p ও p' বিন্দুর মধ্যে স্ফুলিঙ্গ দেখা যায়। ইহাতে প্লাটিনাম বিন্দু ক্ষয় প্রাপ্ত হয়।

ঘনীকারকের কাজ: ঘনীকারক দুইটি কাজ করে:

(i) E. M. F. বৃদ্ধি: ঘনীকারককে বর্তনীতে সমান্তরালে p ও p' বিন্দুর মধ্যে যোগ করায় প্রবাহ-সৃষ্টির সময়ে মুখ্য কুণ্ডলীতে বিশেষ কোন পরিবর্তন হয় না কিন্তু প্রবাহ-লুপ্তির সময় মুখ্য কুণ্ডলীতে যে অতিরিক্ত প্রবাহ সৃষ্ট হয় তাহার সমস্তটাই p ও p' বিন্দুর মধ্য দিয়া স্ফুলিঙ্গরূপে না যাইয়া ঘনীকারককে আহিত করে। ঘনীকারকের পাতের ধারকত্ব খুব বেশী হওয়ায় ঘনীকারকের দুই পাতের মধ্যে বিভবভেদ খুব কম হয় কারণ $C = \frac{Q}{V}$. সুতরাং দুই বিন্দুর

মধ্যে স্ফুলিঙ্গ হয় না, ফলে মুখ্য কুণ্ডলীতে প্রবাহ-লুপ্তির সময় (time of break) t কমিয়া যায় এবং বলরেখার হ্রাসের হার তথা গৌণ কুণ্ডলীতে বলরেখার পরিবর্তনের হার $\left(\frac{N}{t}\right)$ খুব বাড়িয়া যায় সুতরাং লুপ্তির সময় E.M.F. (e)ও বাড়িয়া যায়।

(ii) ব্যাটারির মধ্য দিয়া ঘনীকারক মুখ্য কুণ্ডলীর সঙ্গে যুক্ত থাকায় এইরূপে আহিত হইবার পরক্ষণেই ইহা বিপরীত দিকে অল্প রোধ বিশিষ্ট মুখ্য কুণ্ডলীর মধ্যে একটি প্রবাহ পাঠাইয়া তড়িৎ মোক্ষিত হয়। নরম লোহার মধ্যে যে অবশিষ্ট (residual) চুম্বকত্ব থাকে এই বিপরীত প্রবাহ তাহা বিলুপ্ত করে। ইহার ফলে গৌণ কুণ্ডলীতে বলরেখার সংখ্যা কেবল সর্বোচ্চ মান হইতে শূন্য মানে আসে না পরন্তু বলরেখার অভিমুখও পরিবর্তিত হয়। সুতরাং কোন t সময়ে বলরেখার মোট পরিবর্তনের হার $\left(\frac{N}{t}\right)$ প্রায় দ্বিগুণ হয়। সুতরাং প্রবাহ-লুপ্তির সময় E. M. F. প্রায় দ্বিগুণ হয়।

এখন দেখা যাইতেছে যে প্রবাহ-সৃষ্টি ও লুপ্তির একটি সম্পূর্ণ চক্রে (cycle) **লুপ্তির সময়ের সমমুখী আবিষ্ট E. M. F. সৃষ্টির সময়ের আবিষ্ট E. M. F. অপেক্ষা অনেক বেশী হয়।** যদি k ও k' বর্তুলকে একটু দূরে রাখা যায় তবে সৃষ্টির সময়কার ক্ষুদ্রতর আবিষ্ট E. M. F কোন স্ফুলিঙ্গ পাঠাইতে পারে না কিন্তু লুপ্তির সময় কেবল স্ফুলিঙ্গ পাঠায়। ফলে যন্ত্র হইতে লুপ্তির সময়েই **একটা একাভিমুখী** (unidirectional) **প্রবাহ পাওয়া যায়।** মোটামুটিভাবে,

$$\frac{\text{গৌণ কুণ্ডলীতে আবিষ্ট E. M. F.}}{\text{মুখ্য কুণ্ডলীতে প্রযুক্ত E. M. F.}} = \frac{\text{গৌণ কুণ্ডলীতে পাকের সংখ্যা}}{\text{মুখ্য কুণ্ডলীতে পাকের সংখ্যা}}$$

দ্রষ্টব্য: (ক) আবেশ কুণ্ডলীতে খুব অধিক সংখ্যক পাক থাকে এবং তার খুব সরু হয়।

(খ) গৌণ কুণ্ডলীতে লম্বা সরু তার থাকাতে উহার রোধ খুব বেশী হয় সুতরাং E. M. F. বেশী হইলেও কম প্রবাহ পাওয়া যায়।

(গ) উচ্চ বিভব ও নিম্ন প্রবাহ উৎপন্ন করার দরকার হইলে এই যন্ত্র ব্যবহার করা হয়: যথা মোক্ষণ নলে (discharge tube) মটরকার, এঞ্জিনের স্ফুলিঙ্গ উৎপাদনে, X-রশ্মির শূন্য নলে ইহা ব্যবহৃত হয়।

১১২। **রূপান্তরক** (Transformer): যে যন্ত্রের দ্বারা ক্ষুদ্রতর বিভবযুক্ত বৃহত্তর প্রবাহকে বৃহত্তর বিভবযুক্ত ক্ষুদ্রতর প্রবাহে পরিণত করা যায় তাহাকে আরোহী (step-up) রূপান্তরক বলে। যথা আবেশ-কুণ্ডলী। যে যন্ত্রের দ্বারা বৃহত্তর বিভবযুক্ত ক্ষুদ্রতর প্রবাহকে ক্ষুদ্রতর বিভবযুক্ত বৃহত্তর প্রবাহে পরিণত করা যায় তাহাকে অবরোহী (step down) রূপান্তরক বলে। প্রত্যেক রূপান্তরকে দুইটি কুণ্ডলী থাকে। মুখ্য কুণ্ডলীতে মূল প্রবাহ থাকে। গৌণ কুণ্ডলীতে রূপান্তরিত প্রবাহ উৎপন্ন হয়। সমপ্রবাহে (direct current) রূপান্তরক ব্যবহার হয় না কেবল পরবর্তি প্রবাহে ইহা ব্যবহৃত হয় কারণ এই প্রবাহ নির্দিষ্ট সময় অন্তর অভিমুখ পরিবর্তন করে সুতরাং বলরেখার অভিমুখও পরিবর্তিত হয়।

1. What is an induced current? Describe typical experiments whereby the production of induced currents may be illustrated. (C. U. 1909, '13. '15, '16, '18, '19, '26; Pat. 1918, '21, '28, '42, All '20, '23, '29)

2. State the laws of electro-magnetic induction and describe suitable experiments illustrating each of them. (C. U. 1926; Bom. 1932).

3. Give a brief account of the principal phenomena of electro-magnetic induction. (C. U. 1931, '39; Pat. '43).

4. Describe some experiments to show that electric currents may be produced even without batteries. (Dac. 1932).

5. It is known that a current can be induced in a coil by moving a mag net near it. What conditions determine (a) the direction, (b) the duration, (c) the magnitude of the induced current? Give experimental evidence in support of your answer. (C. U. 1946).

6. State Lenz's law and apply it to explain the production of electrical currents by induction. Show that it follows from the principle of conservation of energy (C U. 1933, '36, (G Pat. '41, '48).

7. Describe a sectional diagram of a Ruhmkorff's coil with an index of parts, and explain its action. (C. U 1922, '25, '2, '36, '12, '44; Pat 1929, '32, '42, '43, All 1924, '30, '45, Dac 1234).

8. Describe an induction coil, and state the reasons for making the primary coil consist of a few turns of thick wire and the secondary of a very large number of turns of thin wire. What is the part played by the condenser? What is the function of the soft iron core? (C. U. 1936; Pat. 1938, '39, '45).

তড়িতের ব্যবহারিক প্রয়োগ

১১৩। বর্তমান সভ্যতার বহু উপকরণ আমরা তড়িৎ হইতে পাই। তড়িৎ আলো জ্বালায়, তাপ প্রদান করে, পাখা, গাড়ী ও বহু যন্ত্র চালায়। তড়িতের সাহায্যে আমরা টেলিগ্রাফ, টেলিফোন, রেডিও মারফত বহু দূর দেশে সংবাদ প্রেরণ করি। তড়িতের তিনটি ফলের উপর এই সব প্রয়োগ নির্ভর করে; যথা, (ক) **তাপীয় ফল:** তড়িৎ পরিবাহীকে উত্তপ্ত করে এবং আলো দেয়;

উৎপন্ন উষ্ণতা $T \; \frac{4: \; 24 i^2 \rho}{e.\, \pi^2 d^3}$ । এখানে ρ=তারের উপাদানের রোধাঙ্ক, d=তারের ব্যাস, i=প্রবাহ মাত্রা। (খ) **রাসায়নিক ফল:** (গ) **চৌম্বক ফল:** তড়িৎ প্রবাহের চতুর্দিকে চৌম্বক ক্ষেত্র সৃষ্ট হয়।

১১৪। **তাপীয় ফলের প্রয়োগ: (১) তাপ বিকিরক** (Radiators): নিকেল, ক্রোমিয়াম ও লোহার সংকর ধাতুর (নাম নাইক্রোম Nichrome) রোধাঙ্ক খুব বেশী এবং ইহা বেশী উষ্ণতায় জারিত (oxidise) হয় না।

সুতরাং তাপ উৎপাদনে এই সংকর ধাতু ব্যবহৃত হয়। তাপ বিকিরকে এই তারের সর্পিল কুণ্ডলী ধাতুর অবতল দর্পণের সম্মুখে রাখা হয়। শীত

প্রধান দেশে ঘর উত্তপ্ত করিতে ইহা ব্যবহৃত হয়। ইহাতে ৮০০°C পর্যন্ত উষ্ণতা সহজেই পাওয়া যায়।

(২) **ইলেকট্রিক ষ্টোভ, ইস্ত্রি, কেটলিতে** কোন তাপসহ দ্রব্যে (যেমন অভ্র, fire-clay) নাইক্রোম বা অন্য উচ্চ রোধাঙ্কযুক্ত তারের কুণ্ডলীর মধ্যে তীব্র প্রবাহ পাঠান হয়।

(৩) **ইলেকট্রিক ফিউজ** (Fuse): চীনা মাটির বাক্সের ভিতরে টিন ও সীসার সংকর ধাতুর ছোট তার থাকে। এই ছোট তারকে fuse বলে। তারের দুই প্রান্ত লাইনের বর্তনীর সঙ্গে শ্রেণীতে যোগ থাকে। Fuse ধাতুর রোধাঙ্ক খুব বেশী কিন্তু গলনাঙ্ক কম হয়; যদি লাইনে কোন কারণে হঠাৎ প্রবাহমাত্রা বৃদ্ধি পায় তখন বেশী উষ্ণতার জন্য fuse তার গলিয়া যায়, প্রবাহ বন্ধ হয়। লোকে তখন প্রবাহমাত্রার বৃদ্ধির বিষয় জানতে পারে। ইহাতে দুর্ঘটনা নিবারিত হয়। তীব্র প্রবাহের লাইনে তামার তারের fuse ব্যবহৃত হয়। প্লাটিনামের ক্ষুদ্র তার বিস্ফোরক (blasting) fuse এর কাজ করে। প্লাটিনাম তারের রোধ বেশী। সরু প্লাটিনাম তারে তীব্র প্রবাহ চলিলে ইহা শ্বেততপ্ত (white hot) হয়। কোন বিস্ফোরক পদার্থের মধ্যে সরু প্লাটিনাম তার রাখিয়া বহুদুর হইতে ব্যাটারির সংযোগ করা হয়। চাবি টিপিলে প্রবাহ প্লাটিনাম তারকে উত্তপ্ত করে। উত্তাপে বিস্ফোরক পদার্থের বিস্ফোরণ হয়। উষ্ণ তার দিয়া চিকিৎসকগণ দুষ্ট ব্রণ অপসারিত করেন। ইহাকে cauterisation বলে।

(৪) **ইলেকট্রিক আর্ক** (Arc): দুইটি সংনমিত (Compressed) শক্ত কার্বনের দণ্ড (pencil) বা ধাতুর দণ্ড অন্ততঃ ৪০ ভোল্ট বিভব-ভেদযুক্ত একটি ব্যাটারির দুই মেরুর সঙ্গে যোগ করা থাকে। এখন দণ্ড দুইটিকে স্পর্শ করাইয়াই একটু ফাঁক করিয়া দিলে দুইটি দণ্ড এত উত্তপ্ত হয় যে উহাদের মধ্যে খুব উজ্জ্বল আলো উৎপন্ন হয়। এই আলোর তীব্রতা ২০০ হইতে ২০০০ দীপশক্তি সম্পন্ন হয়। এই আলোকে **ইলেকট্রিক আর্ক** বলে। যখন দণ্ড দুইটি স্পর্শ করে তখন উহাদের মধ্য দিয়া প্রচুর প্রবাহ

অতিক্রম করে। ইহাতে স্পর্শ-বিন্দুতে এত উষ্ণতা উৎপন্ন হয় যে উহা ভাস্বর হয় এবং কার্বন কণা বাষ্পীভূত হয়। যখন উহারা পৃথক হয় তখন এই কার্বন-বাষ্পই তড়িৎ পরিবহন করে। প্রবাহ একমুখীন হইলে এই সময়ে + দণ্ড হইতে − দণ্ডে কার্বন কণা চলিয়া যায়। ফলে + দণ্ডে গহ্বর (crater) সৃষ্ট হয়। এই গহ্বর হইতে অধিকাংশ আলো পাওয়া যায়। আর্ক উৎপাদনে − দণ্ডের চেয়ে + দণ্ড দ্বিগুণ ক্ষয়প্রাপ্ত হয় সুতরাং অনবরত ব্যবহারে উহাদের দূরত্ব এত বাড়িয়া যাইতে পারে সে প্রবাহ বন্ধ হয় ও আর্ক নিভিয়া যায়। সেইজন্য স্বয়ংক্রিয় ব্যবস্থায় উহাদিগকে কাছাকাছি আনা হয়। গহ্বরের উষ্ণতা ২০০০°—৩৫০০°c হয়। এই উত্তাপে বহু ধাতু যথা লোহা, তামা গলিয়া যায়। সন্ধানী আলোয় (search light), ইলেক্‌ট্রিক ঝালাইতে (welding), বায়স্কোপে, চুল্লীতে আর্ক আলো ব্যবহৃত হয়।

(৫) **ইলেক্‌ট্রিক চুল্লী** (Furnace) : সিলিকা নলের উপরে নাই-ক্রোমের বা molybdenum তার জড়াইয়া অল্প উষ্ণতা উৎপন্ন করিবার (১৫০০°c পর্যন্ত) চুল্লী প্রস্তুত হয়। তারের উপর fire-clay প্রলেপ থাকে। নলের ভিতর গরম করিবার পদার্থ রাখা হয়। যে সব চুল্লী উচ্চ উষ্ণতা উৎপন্ন করে তাহাদের ভিতরটা দুর্দ্রবনীয় (refractory যাহা সহজে গলে না) দ্রব্যে প্রস্তুত হয়। উহার ভিতরে দুইটি কার্বন তড়িৎ-দ্বার যে পদার্থ গলান হইবে তাহাতে ডুবান থাকে। তড়িৎ-দ্বার দিয়া তীব্র প্রবাহ পাঠান হয়।

(৬) **বিজলী বাতি** (Electric Lamp) : **নীতি :** উচ্চ গলনাঙ্ক বিশিষ্ট সরু ও দীর্ঘ তারের মধ্য দিয়া তীব্র প্রবাহ পাঠাইলে তারটি শুভ্রতপ্ত হইয়া ভাস্বর হয়। এই সরু তারকে **তন্তু** (Filament) বলে।

যন্ত্র : একটি কাঁচের A বাল্‌বের মুখে একটি B ধাতব টুপি থাকে। টুপির মধ্য দিয়া একটি কাঁচ দণ্ড C বালবের ভিতরে গিয়াছে। দণ্ড হইতে উপর দিকে ও তলার দিকে কয়েকটি ধাতব হুক বাহির হয়। এই হুকগুলিতে একটি সরু তন্তু Fএর কয়েক পাক জড়ান থাকে। কাঁচ দণ্ডের উপরদিকে দুইটি মোটা তামার

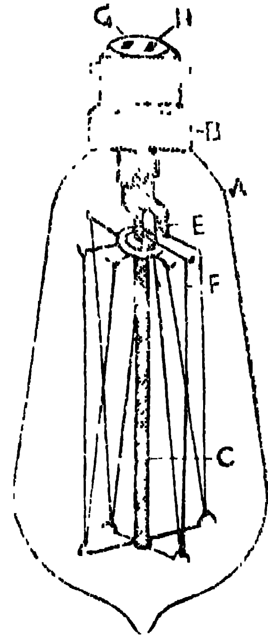
তার E ঝালাই করা থাকে কিন্তু তার দুইটি টুপিকে স্পর্শ করে না। দুই মোটা তারের দুই প্রান্ত কাঁচদণ্ডের মধ্য দিয়া বাল্‌বের বাহিরে আসে এবং দুইটি দুই পিতলের চাকতি G ও Hএর সঙ্গে ঝাল দেওয়া থাকে। সরু তন্তুর দুই প্রান্ত এই দুই মোটা তারের সঙ্গে যুক্ত থাকে। যখন বাল্‌বের টুপিটি লাইনের বাতি-ঘরার (socket) মধ্যে বসান হয় মোটা তারের শেষ প্রান্তের ও লাইনের মধ্যে সংযোগ স্থাপিত হয় এবং তন্তুর মধ্য দিয়া প্রবাহ চলে। তন্তু ভাস্বর হইয়া আলো দেয়।

কার্বন তন্তু: ১৮০২ খৃষ্টাব্দে হাম্‌ফ্রে ডেভি (Humphray Davy) প্রথমে বায়ুশূন্য পাত্রে দুইখানি কাঠ-কয়লা টুকরা ৭ ইঞ্চি দূরে রাখিয়া ২০০০ কোষযুক্ত ব্যাটারির সহিত সংযুক্ত করিয়া আলো উৎপন্ন করেন। ডায়নামো আবিষ্কারের পর এডিসন (Edison) বাঁশের আঁশ পুড়াইয়া কার্বনে পরিণত করিয়া কার্বনের তন্তুর (carbon filament) মধ্য দিয়া প্রবাহ চালাইয়া আলো উৎপাদন করেন।

কার্বন তন্তুর নিম্নলিখিত অসুবিধা আছে: (ক) অনবরত ব্যবহারে বাল্‌বের ভিতরটা কার্বনের কণা জমিয়া কালো হইয়া যায় (খ) কার্বন ১৮০০° উষ্ণতায় বাষ্পীভূত হয় সেইজন্য উচ্চতর উষ্ণতায় শুভ্র আলো পাওয়া যায় না। (গ) একটি নির্দিষ্ট উজ্জ্বলতা দিতে কার্বন তন্তু ধাতব তন্তুর চেয়ে বেশী তড়িৎ গ্রহণ করে কারণ উষ্ণতা বৃদ্ধির সঙ্গে কার্বনের রোধ কমিয়া যায়। এবং কার্বন তন্তু হইতে বেশী উত্তাপ বিকীর্ণ হইয়া নষ্ট হয় ইহাতে খরচা বেশী পড়ে। সাধারণতঃ তড়িৎ শক্তির শতকরা ৩৬ ভাগ আলোতে এবং ৬৪ ভাগ উত্তাপে পরিণত হয়।

ধাতব তন্তু: এই সকল অসুবিধার জন্য আজকাল ধাতব তন্তু ব্যবহৃত হয়। ১৯২০ খৃষ্টাব্দে টাংষ্টেন (Tungsten) ব্যবহৃত হয়। টাংষ্টেনের ও টন্‌টালামের (Tantalum) গলনাঙ্ক ৩৩০০°c এবং এই দুই ধাতুই খুব নমনীয় এবং ইহাদিগকে সহজেই সরু তারে পরিণত করা যায়। ওস্‌মিয়াম (Osmium) ও উল্‌ফ্রাম (Wolfram or tungsten) ধাতুর সংকরকে

Osram বলে। এই Osram এর তন্তু খুব ব্যবহৃত হয়। কার্বনের অপেক্ষা টাংষ্টেনের রোধাঙ্ক খুব কম বলিয়া ধাতব তন্তু কার্বন তন্তু অপেক্ষা খুব সরু ও দীর্ঘ হওয়া দরকার। ধাতব তারের অনেক প্যাঁচ থাকে। সাধারণতঃ বায়ুশূন্য বাল্‌বে ২০০০°C উষ্ণতার বেশী উষ্ণতায় ধাতব কণা তন্তু হইতে বিচ্ছিন্ন হয় কিন্তু অর্ধেক বায়ু চাপে নিষ্ক্রিয় গ্যাস যথা আরগন, নাইট্রোজেন দ্বারা বাল্‌ব ভর্তি করিলে একই প্রবাহ ব্যবহারে উষ্ণতা ২৮০০°C বাড়ান যায়। এই বাল্‌বকে **গ্যাস ভর্তি** (Gas filled bulb) বা **আধ ওয়াট** বাল্‌ব বলে। এই বাল্‌ব ভাল আলো দেয়, খরচা কম হয়, বেশী দিন টেকে। গ্যাস ভর্তি বাল্‌বে তন্তুকে জমাট কুণ্ডলীর আকারে রাখা হয়।



১২১ নং চিত্র—বিজলী বাতি

গ্যাসের দুইটি উপকারিতা আছে : (ক) গ্যাসের চাপের জন্য ধাতবকণা তন্তু হইতে সহজে বিচ্ছিন্ন হয় না।

(খ) সামান্য কণা যাহা বিচ্ছিন্ন হয় তাহাও গ্যাসের পরিচলন স্রোতে বাল্‌বের উপর দিকে জমা হয়।

আজকাল প্রত্যেক বাল্‌বের গায়ে ভোল্ট (P. D.) ও দীপ-শক্তি (C. P.) বা ওয়াট লেখা থাকে। ওয়াট=ভোল্ট × অ্যাম্পিয়ার। এক দীপ-শক্তির জন্য যতটুকু তড়িৎশক্তি দরকার তাহাকে বাতির **কার্য্যকারিতা** (efficiency) বলে।

$$\therefore \text{ কার্যকারিতা} = \frac{\text{ওয়াট}}{\text{দীপ-শক্তি}}$$

সাধারণ কার্বন বাল্‌বে	প্রতি দীপশক্তিতে	৪ ওয়াট
সাধারণ টাংষ্টেন বাল্‌বে	,, ,,	১.৪ – ১.৭ ,,
গ্যাস ভর্তি ,, ,,	,, ,,	১.১ – ১.৫ ,, (১০০ ওয়াটের কম)
	,, ,,	.৭ – .১ (১০০ ওয়াটের বেশী)

অঙ্ক ঃ (ক) ৬০ ওয়াট ও ২২০ ভোল্ট যুক্ত বাল্‌বে প্রবাহ কত ?

ওয়াট = ভোল্ট × অ্যাঃ

$\therefore$ ৬০ ওয়াট = ২২০ × i $\therefore$ $i = \frac{৬০}{২২০}$ অ্যাঃ $= \frac{৩}{১১}$ অ্যাঃ

বাতির রোধ $= \frac{২২০}{\frac{৩}{১১}} = \frac{২২০}{৩} \times ১১ =$ ৮০৬.৬ ওহম

একটি ৬০ ওয়াট বাতি $\frac{১০০০}{৬০} = \frac{৫০}{৩} =$ ১৬.৬ ঘণ্টায় এক B. T. U. খরচ করে।

দ্রষ্টব্য ঃ মনে রাখিবে আমরা ইলেক্‌ট্রিক কোম্পানীকে প্রবাহের জন্য দাম দিই না, মোট তড়িৎ শক্তির জন্য দাম দিই। আমরা কিলোওয়াট-ঘণ্টা (kilowatt hour) অর্থাৎ ১ ঘণ্টায় ১০০০ ওয়াট হিসাবে দাম দিই। বালবের গায়ে "১২V – ৪৮W" লেখা থাকিলে বুঝিবে ১২ volt ৪৮ watt.

৩। **বাড়ীতে তড়িৎ সরবরাহ ঃ** রাস্তার মেন (Mains) হইতে দুইটি অন্তরিত তার বাড়ীতে লইয়া শ্রেণীতে একটি মিটারের (watt-hour meter) সঙ্গে প্রথমে যোগ করা হয়। মিটারে কোন নির্দিষ্ট সময়ে বাড়ীতে কত কিলোওয়াট-ঘণ্টা তড়িৎ খরচ হয় তাহা মাপা হয়। দুইটি তারকে প্রত্যেক ঘরে লইয়া আলো ও পাখাগুলিকে **সমান্তরালে** যোগ করা হয় অর্থাৎ প্রত্যেক আলো ও পাখাকে সরবরাহ তারের সঙ্গে পৃথকভাবে যোগ করা হয়। এইরূপ ব্যবস্থার সুবিধা এই যে (i) প্রত্যেক আলোর শেষ প্রান্তে একই বিভব-ভেদ থাকে। (ii) একটি আলো নিভিলে অন্য আলো নিভে না। (iii) অন্য আলো লাইনে

দিলে কোন আলোর উজ্জ্বলতা কমে না। লাইনে দুই রকম fuse থাকে—একটি প্রধান fuse, আর প্রত্যেক আলোর বা পাখার পৃথক fuse থাকে। সুইচ (switch) দুইটি থাকে—একটি প্রধান সুইচ এবং প্রত্যেক আলো ও পাখার পৃথক সুইচ থাকে। পাখার গতি বাড়ান বা কমানর জন্য গতি নিয়ন্ত্রক (regulator) থাকে।

অঙ্ক : 1. How many joules of energy are consumed when a 40-watt lamp burns for 10 minutes ? (C. U. 1934).

১ ওয়াট = প্রতি সেকেণ্ডে ১ জুল।

∴ ৪০-ওয়াট বাতি প্রতি সেকেণ্ডে ৪০ জুল শক্তি খরচ করে।

∴ ১০ মিনিটে ৪০ × ৬০০ = ২৪০০০ জুল শক্তি খরচ হয়।

2. A university hostel has 360 lamps installed. The lamps consume 50 watts each and are lighted for 6 hours daily for 9 months. The voltage of the supply is 220 and the current costs 6 annas per kilowatt-hour. Find the cost of the current as well as the maximum current used. (All. 1930).

প্রত্যেক আলো ৬০ ওয়াট শক্তি খরচ করে।

∴ ৩৬০টি আলো (৩৬০ × ৫০) ওয়াট শক্তি খরচ করে।

∴ ৯ মাসে (প্রতি দিনে ৬০ ঘণ্টা হিসাবে) ব্যয়িত মোট শক্তি =

$$৩৬০ \times ৫০ \times ৩০ \times ৯ \times ৬ \text{ ওয়াট ঘণ্টা} = \frac{৩৬০ \times ৫০ \times ৩০ \times ৯ \times ৬}{১০০০}$$

$$= ৫৪০ \times ৫৪ \text{ কিলোওয়াট-ঘণ্টা}$$

$$\therefore \text{ মোট দাম} = \frac{৫৪০ \times ৫৪ \times ৬}{১৬} = ১০৯৩৫ \text{ টাকা}$$

মোট শক্তি = ৩৬০ × ৫০ ওয়াট। বিভব-ভেদ = ২২০ ভোল্ট।

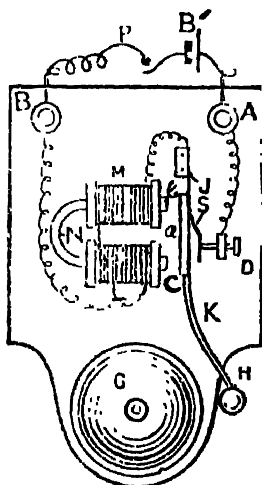
$$\therefore \text{ প্রবাহ } i = \frac{\text{ওয়াট}}{\text{ভোল্ট}} = \frac{৩৬০ \times ৫০}{২২০} = ৮১{\cdot}৮১ \text{ অ্যাঃ}$$

১১৫। চৌম্বক ফলের প্রয়োগ :—

(ক) তড়িৎ ঘণ্টা (Electric Bell): নীতি: তড়িৎ-প্রবাহের চৌম্বক ফলের জন্য তড়িৎশক্তি শব্দ শক্তিতে রূপান্তরিত হয়।

যন্ত্র: CNC একটি U আকারের (অশ্বখুরাকৃতি) নরম লোহার core। একটি নরম লোহার আর্মেচার (armature) a র সঙ্গে একটি ষ্টীলের স্প্রীং J যুক্ত আছে। Core এর দুইটি বাহুতে দুইটি ববিনের (M ও L) উপর দুইটি কুণ্ডলীতে অন্তরিত তামার তার বিভিন্ন দিকে জড়ান থাকে। কুণ্ডলী দুইটি একই তার দিয়া শ্রেণীতে যোগ করা থাকে। কুণ্ডলী তারের এক প্রান্ত B বন্ধনী-স্ক্রুর সহিত এবং অপর প্রান্ত J স্প্রিংয়ের সঙ্গে যুক্ত থাকে। a আর্মেচারের পিঠে একটি হাল্কা স্প্রীং S থাকে। অব্যবহৃত অবস্থায় S স্প্রীং D স্ক্রুর গায়ে লাগিয়া থাকে। D স্ক্রুর সহিত A বন্ধনী-স্ক্রুর যোগ থাকে। a আর্মেচারের সহিত যুক্ত একটি বাহু K র শেষে একটি H হাতুড়ি থাকে। উহা G ঘণ্টায় গিয়া আঘাত করে। A ও B বন্ধনী-স্ক্রু ঠেলা-চাবি P র (push key) মধ্য দিয়া কোন কোষ B'র (সাধারণতঃ লেক্লান্স কোষের) সহিত যুক্ত থাকে।

ক্রিয়া: P চাবি টিপিয়া বর্তনী সংহত করিলে প্রবাহ B' হইতে A, D, S ও J হইয়া দুই কুণ্ডলীর মধ্য দিয়া যায়। ফলে প্রবাহের জন্য CNC নরম লোহার core চৌম্বকত্ব প্রাপ্ত হয়। চুম্বক কর্তৃক আর্মেচার a আকৃষ্ট হয়। ফলে H হাতুড়ি G ঘণ্টায় আঘাত করে। ইহাতে ঘণ্টা বাজিয়া উঠে। আবার এদিকে a আর্মেচার চুম্বক কর্তৃক আকৃষ্ট হওয়াতে D স্ক্রু ও S স্প্রিংয়ের মধ্যে ফাঁক হইয়া যায় এবং বর্তনীর ছিন্ন হয় ও প্রবাহ বন্ধ হয় সুতরাং CNC তড়িৎ চুম্বকের চুম্বকত্ব অন্তর্হিত হয়। S স্প্রীংয়ের স্থিতিস্থাপকতার জন্য ইহা পূর্বাবস্থানে ফিরিয়া আসে। বর্তনী পুনরায় সংহত হয়। যতক্ষণ P চাবি ঠেলা যায়

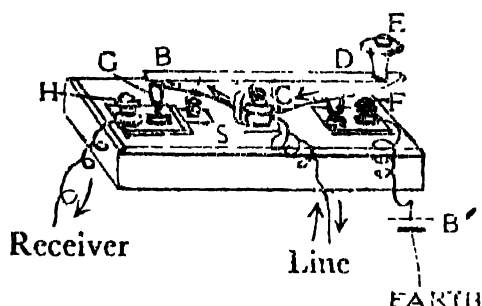


১২২নং চিত্র—তড়িৎ ঘণ্টা

ততক্ষণ আপনাআপনি বর্তনী একবার ছিন্ন হয়, একবার সংহত হয় এবং ঘণ্টা অনবরত বাজিতে থাকে। অনেক সময় ঘণ্টার সহিত সংযুক্ত বিভিন্ন তড়িৎ-চুম্বকে বিভিন্ন বর্ণের সংকেত (indicator) থাকে। এই সংকেত দেখিয়া পরিচারক স্থির করে কোন ঘর হইতে তাহাকে ডাকা হইতেছে।

(খ) টেলিগ্রাফঃ টেলিগ্রাফে প্রবাহের তড়িৎ-চুম্বকের ফলের দ্বারা উৎপন্ন কতকগুলি সাংকেতিক শব্দের (code) সাহায্যে দুইটি তড়িৎ তার দ্বারা সংযুক্ত জায়গার মধ্যে সংবাদ আদান-প্রদান করা হয়। টেলিগ্রাফ (telegraph) কথার অর্থ "দূর লেখক"। এই যন্ত্রে তিনটি অংশ থাকে:—(১) **প্রেরক** (Transmitter): এই যন্ত্র দিয়া সংকেত পাঠান হয়। (২) **লাইন তার** (Line wire): লোহার বা তামার তার দিয়া দুইটি স্থানের যোগ থাকে। তারের মধ্যে দিয়া তড়িৎ-সংকেত যায়। (৩) **ব্যাটারি,** (৪) **গ্রাহক** (Receiver) এই যন্ত্র দিয়া সংকেত গ্রহণ করা হয়।

(১) প্রেরক: যন্ত্রঃ ইহাকে মর্সের চাবি (Morse's key) বলে। এই চাবি দিয়া খুব দ্রুত প্রবাহ চালু এবং বন্ধ করা যায়। এই যন্ত্রে একটি

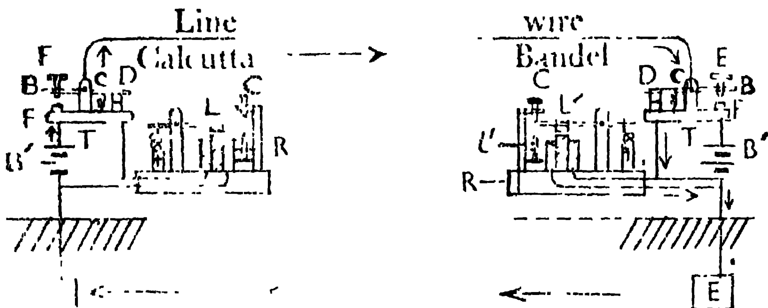


১২৩নং চিত্র—প্রেরক যন্ত্র

অন্তরক্ষেত্রিক ইবোনাইটের পুরু পাতের উপর পিতলের সরল দণ্ড BD থাকে। এই দণ্ডটিকে লিভার (Lever) বলে। এই দণ্ডটি মাঝখানে একটি অনুভূমিক পিতলের অক্ষ বরাবর ঘুরিতে পারে। পিতলের অক্ষটি C বন্ধনী-স্ক্রুর সঙ্গে যুক্ত

শব্দ করে। এই দুইটি শব্দের মধ্যে যে টুকু সময় অতিবাহিত হয় সেই সময়ের পার্থক্যর উপর কথার সংকেত নির্ভর করে। দূরবর্তী স্থানের প্রেরক যন্ত্রে যে সময় প্রবাহ চলে অর্থাৎ প্রেরক E বর্তুল টিপিয়া থাকে তাহার দ্বারা দুই শব্দের মধ্যে সময়ের পার্থক্য নিয়ন্ত্রিত হয়। দুই শব্দের মধ্যে সময়ের ব্যবধান বেশী হইলে সংকেতকে **টরে** dash (—) এবং ব্যবধান কম হইলে সংকেতকে **টক্কা** dot (·) বলে। আজকাল স্বয়ংক্রিয় ব্যবস্থায় একটি সমগতিতে ঘূর্ণায়মান ফিতায় একটি বিন্দুর আকারে dot ও একটি রেখার আকারে dash লেখা হইয়া যায়। টরে ও টক্কার দিয়া অক্ষর তৈয়ারি হয়। ইহাকে Morse Code বলে যথা A.—, B—···, C—.—..

(৪) **দুই স্থানের মধ্যে সংবাদ প্রদান** : মনে কর কলিকাতা হইতে ব্যাণ্ডেলে টেলিগ্রাফ করিতে হইবে। কলিকাতা ষ্টেশনে T প্রেরক যন্ত্রের E বর্তুল টেপা



১২৫নং চিত্র—কলিকাতা ও ব্যাণ্ডেলের মধ্যে টেলিগ্রাফ

হয়। লিভারের B প্রান্ত F স্ক্রুকে স্পর্শ করে এবং + মেরুর সঙ্গে সংযোগ হয়। ব্যাটারির — মেরু মাটির সঙ্গে সংযুক্ত আছে সুতরাং ব্যাটারি হইতে প্রবাহ FBC হইয়া লাইনে যায় লাইন হইতে ব্যাণ্ডেলের প্রেরক যন্ত্রের C ও Dএর মধ্য দিয়া গ্রাহক যন্ত্রের তড়িচ্চুম্বক Mএর কুণ্ডলী হইয়া মাটি Eর মধ্য দিয়া কলিকাতায় ষ্টেশনে ব্যাটারিতে ফিরিয়া যায়। ইহাতে লাইনের বর্তনী সম্পূর্ণ হয়। ব্যাণ্ডেলের গ্রাহক যন্ত্রের L' লিভারের আর্মেচার আকৃষ্ট হইয়া d'তে শব্দ করে। কলিকাতায়

ষ্টেশনে E বর্তুল ছাড়িয়া দিলে বর্তনী ছিন্ন হয়। এইরূপে কলিকাতা ষ্টেশনে বর্তুলের টিপিয়া রাখিবার সময়ের পার্থক্যর উপর ব্যাণ্ডেল ষ্টেশনে গ্রাহক যন্ত্রে টরে ও টক্কা শব্দ পাওয়া যায়।

বদলি লাইন (Relay): দুইটি ষ্টেশন খুব দূরে দূরে হইলে তারের দৈর্ঘ্য বেশী হয়, রোধও বেশী হয় সুতরাং অপর ষ্টেশনে প্রবাহ খুব ক্ষীণ হইয়া যায় এবং অপর ষ্টেশনের গ্রাহক যন্ত্রে শব্দ শোনা যায় না। সেইজন্য গ্রাহক যন্ত্রের নিকট অপর একটি যন্ত্র থাকে। ইহার নাম Relay। এই যন্ত্রে উল্লম্ব তড়িচ্চুম্বক M

১২৫নং চিত্র—বদলি লাইন

এবং নরম লোহার হাল্কা আর্মেচার যুক্ত L লিভার থাকে; M তড়িচ্চুম্বককে লাইনের বর্তনীতে রাখা হয়। যখন ক্ষীণ প্রবাহ M এর কুণ্ডলীর মধ্য দিয়া যায় তখন L লিভারের আর্মেচার আকৃষ্ট হয় এবং P স্ক্রুকে স্পর্শ করে। ইহাতে স্থানীয় ব্যাটারি Bতে বর্তনী সম্পূর্ণ হয় এবং S গ্রাহক যন্ত্রে প্রবল প্রবাহ যায় এবং শব্দ বেশী হয়।

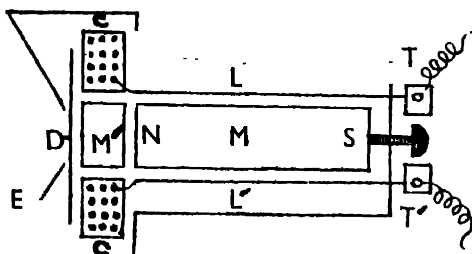
দ্রষ্টব্য: উপরোক্ত টেলিগ্রাফ প্রণালীতে একই সময়ে লাইনে একই দিকে সংবাদ পাঠান যায় কিন্তু আজকাল Duplеix প্রণালীতে একই সময়ে একই ষ্টেশনে সংবাদ পাঠান যায় এবং গ্রহণ করা যায়।

(গ) টেলিফোন বা তারবাক্ (Telephone): এই যন্ত্রে একটি স্থায়ী চুম্বকের চৌম্বক ক্ষেত্রের বলরেখার পরিবর্তনের জন্য উৎপন্ন আবিষ্ট প্রবাহের দ্বারা এক স্থানের কথা অন্য স্থানে শ্রোতার কাণে পাঠান যায়। সমস্ত টেলিফোন প্রণালীতে তিনটি যন্ত্র থাকে: (ক) প্রেরক, (খ) লাইন, (গ) গ্রাহক।

প্রেরক ও গ্রাহক : প্রথমে একই যন্ত্র প্রেরক ও গ্রাহকরূপে ব্যবহৃত হইত।

যন্ত্র : এই যন্ত্রে একটি কাঠের বা ইবোনাইট খণ্ডের মধ্যে একটি দীর্ঘ স্থায়ী-চুম্বক M বসান থাকে। M চুম্বকের N মেরুর সামনে এক টুকরা নরম লোহার পাত M'এর চারিদিকে একটি অন্তরক কাঠিমের (bobbin) উপর তামার সরু অন্তরিত তারের কুণ্ডলী C থাকে। এই তারের দুই প্রান্ত ইবোনাইট খণ্ডের দুই গর্তের মধ্য দিয়া লইয়া T ও T' বন্ধনী-স্ক্রু সঙ্গে যুক্ত করা হয়। C কুণ্ডলীর সম্মুখে একটি নরম লোহার পাতলা গোল পাত D (diaphragm) শঙ্কু আকৃতির মুখ-নল (mouth piece) E দ্বারা এমনভাবে আটকান থাকে যাহাতে ইহা M' পাতের খুব কাছে থাকে। বন্ধনী-স্ক্রু T ও T' লাইনের তারের মধ্য দিয়া অপর ষ্টেশনের এইরূপ যন্ত্রের আর একটি বন্ধনী-স্ক্রু T ও T'এর সঙ্গে যুক্ত থাকে।

ক্রিয়া : M চুম্বকের সম্মুখে থাকে বলিয়া M' পাত ও D পাত আবিষ্ট চুম্বকত্ব প্রাপ্ত হয়। মুখনলে কথা বলিবার সময় বায়ুতে সংকোচন তরঙ্গ ও তনু-



১২৬নং চিত্র—টেলিফোন

ভবন তরঙ্গের (৪র্থ খণ্ডের ১৫ অনুচ্ছেদ) উৎপত্তি হয়। এই তরঙ্গ D পাতে ধাক্কা দেয়। ইহাতে D পাতে উদ্দীপন কম্পনের (forced vibration) সৃষ্টি হয় এবং D পাত M চুম্বকের N প্রান্ত হইতে একবার আগাইবে, একবার পিছাইবে। যখন D পাত Mএর দিকে আগাইয়া আসে তখন C কুণ্ডলীর মধ্যে মোট চুম্বকীয় বলরেখার সংখ্যা (flux) বৃদ্ধি পায় এবং যখন M হইতে পিছাইয়া যায়

তখন ঐ বলরেখার সংখ্যা কমে। সুতরাং C কুণ্ডলীতে পর্যায়ক্রমে বিপরীত মুখে আবিষ্ট প্রবাহের উৎপত্তি হয়। এই আবিষ্ট প্রবাহ T ও T´ বন্ধনী-স্ক্রু হইয়া লাইনের তার দিয়া অপর ষ্টেশনের গ্রাহক যন্ত্রে এইরূপ কুণ্ডলীতে যায়। এই কুণ্ডলী সলিনয়েডের মত কাজ করে এবং স্থায়ী চুম্বকের মেরুর উপর আবিষ্ট চুম্বকত্ব উৎপাদন করে সুতরাং আবিষ্ট প্রবাহের তীব্রতা (strength) অনুযায়ী স্থায়ী চুম্বকের চৌম্বকত্বের তীব্রতা বাড়ে বা কমে। অতএব অপর ষ্টেশনের যন্ত্রের M চুম্বক D পাতকে একবার জোরে আকৃষ্ট করে এবং একবার ছাড়িয়া দেয় অর্থাৎ D পাত একবার আগাইয়া আসে এবং পিছাইয়া যায়। ইহাতে বায়ুতে শব্দ তরঙ্গের সৃষ্টি হয়। এই সকল ক্রিয়ার মোট ফল এই দাঁড়ায় যে প্রেরক যন্ত্রের D পাতে উৎপন্ন শব্দ তরঙ্গ হুবহু গ্রাহক যন্ত্রের D পাতে উৎপন্ন হয়। মনে রাখিবে এই ব্যবস্থায় **কোন ব্যাটারি ব্যবহৃত হয় না**। আবিষ্কারের নামানুসারে ইহাকে Bell টেলিফোন বলা হয়। এই যন্ত্রে আবিষ্ট প্রবাহ এত ক্ষীণ যে ইহা বেশী দূরে শব্দ উৎপাদন করিতে পারে না এবং শব্দের tone ভাল হয় না। Bell টেলিফোন একটু উন্নত করিয়া গ্রাহকরূপে ব্যবহৃত হয়, কিন্তু আজকাল ইহা প্রেরকরূপে ব্যবহৃত হয় না।

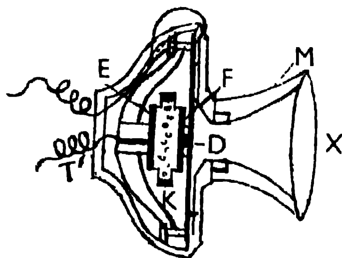
আধুনিক টেলিফোনে উন্নত গ্রাহক : এই যন্ত্রে একটি U-আকারের M চুম্বকের প্রত্যেক মেরুতে একটি কুণ্ডলী থাকে। দুইটি কুণ্ডলী শ্রেণীতে যুক্ত থাকে। তারের শেষ প্রান্ত T ও T´ বন্ধনীতে যুক্ত থাকে। দুইটি মেরু কাছাকাছি থাকাতে লাইন হইতে প্রবাহ গ্রাহকের দুইটি কুণ্ডলীতে প্রবেশ করে এবং ইহাতে তড়িচ্চুম্বকীয় আবেশ দ্বিগুণ হয়।

মাইক্রোফোন প্রেরক (Microphone Transmitter) : **নীতি :** এই যন্ত্রের নীতি সম্পূর্ণ বিভিন্ন : যদি দুই টুকরা কার্বনের স্পর্শতলের মধ্যে শব্দ তরঙ্গ দ্বারা উৎপন্ন চাপের সামান্য পার্থক্য হয় তবে উহাদের স্পর্শতলে রোধের খুব বেশী পার্থক্য হইবে। সুতরাং উহাদের মধ্য দিয়া অতিক্রান্ত প্রবাহেরও পার্থক্য হয়।

যন্ত্র : K প্রকোষ্ঠ কঠিন কার্বনের গুড়ায় আলগাভাবে পূর্ণ থাকে।

প্রকোষ্ঠের সম্মুখে ও পশ্চাতে দুইটি কার্বনের চকচকে পাত E ও F থাকে। সম্মুখের F কার্বন পাত D ষ্টীলের পাতের (diaphragm) মাঝখানে শক্তভাবে যুক্ত থাকে। ব্যাটারির এক মেরু D লোহার পাতের সঙ্গে এবং অপর মেরু পশ্চাতের E কার্বন পাতের সঙ্গে যুক্ত থাকে। সুতরাং প্রবাহ D পাত হইতে F পাতে যায় তথা হইতে কার্বনের গুড়ার মধ্য দিয়া E পাতে যায় তথা হইতে লাইনে যায়।

ক্রিয়া: মুখ-নল (mouth piece) দিয়া কথা বলিবার সময় শব্দ তরঙ্গ (সংনমন তরঙ্গ ও তনুভবন তরঙ্গ) D পাতের উপরে পড়ে। ইহাতে D পাত একবার ভিতরের দিকে যায় এবং একবার বাহিরে আসে। যখন D ভিতরের দিকে যায় তখন কার্বন গুড়াগুলির উপর বেশী চাপ পড়ে। উহাদের রোধ কমে সুতরাং প্রবাহ বাড়ে। যখন D বাহিরের দিকে সরে তখন কার্বন গুড়াগুলির উপর চাপ কমে, রোধ বাড়ে, প্রবাহ কমে। সুতরাং এইরূপ পরিবর্তনশীল প্রবাহ (fluctuating) লাইন তার দিয়া যাইয়া গ্রাহকের কুণ্ডলীর মধ্য দিয়া যায় এবং সেখানে নরম লোহার চৌম্বকত্বের মাত্রার হ্রাস-বৃদ্ধি ঘটায়, গ্রাহকের D পাতের কম্পনও কম বেশী হয়। কাজেই গ্রাহক যন্ত্রের D পাত ঠিক প্রেরক যন্ত্রের মত শব্দ উৎপাদন করে।



১২৭নং চিত্র—মাইক্রোফোন প্রেরক

টেলিফোন বর্তনী (Telephone Circuit): টেলিগ্রাফের মত টেলিফোনে একটি তারের বদলে মাটি ব্যবহার করা হয় না কারণ স্বাভাবিক কারণে বা নিকটে টেলিগ্রাফ লাইন থাকিলে টেলিফোন লাইনে গৌণ প্রবাহ উত্থিত হয়। সেইজন্য প্রেরক ও গ্রাহক যন্ত্র দুইটি তার দিয়া যোগ করা হয়। বহু দূরের লাইনের রোধ বেশী হয়, লাইনের তারে প্রবাহ ক্ষীণ হইয়া যায় সেইজন্য মাইক্রোফোন প্রেরককে শ্রেণীতে আবেশ-কুণ্ডলীর মুখ্য কুণ্ডলীর সঙ্গে যোগ করা

হয়। মুখ্য কুণ্ডলীতে প্রবাহের মাত্রার পরিবর্তন গৌণ কুণ্ডলীতে অনেক বেশী বিভবের প্রবাহ উৎপন্ন করে। এই বেশী প্রবাহ লাইন দিয়া অপর ষ্টেশনে গ্রাহকে যায়। এই প্রণালীতে প্রত্যেক গৌণ কুণ্ডলী লাইন ও অপর ষ্টেশনের গ্রাহকের সঙ্গে শ্রেণীতে যুক্ত থাকে। অব্যবহৃত অবস্থায় গ্রাহককে একটি দণ্ডে তুলিয়া রাখা হয়। ইহাতে গৌণ কুণ্ডলীর সঙ্গে সংযোগ ছিন্ন হয়। একটি বিদ্যুৎ-ঘণ্টা বর্তনীতে যোগ করা থাকে। অপর ষ্টেশনে একটি চাবি টিপিলে ব্যাটারির সঙ্গে লাইনের ঘণ্টার সংযোগ হয়। ঘণ্টার শব্দ শুনিয়া কেহ গ্রাহকটিকে দণ্ড হইতে তুলিলেই ঘণ্টার বর্তনী ছিন্ন হয় এবং গ্রাহক লাইন বর্তনীর সঙ্গে যুক্ত হয়; তখন দুই ষ্টেশনে কথাবার্তা হয়। বড় সহরে একটি কেন্দ্রীয় স্থানে (Central Exchange) একটি বৃহৎ সঞ্চয়ক ব্যাটারি থাকে। প্রত্যেক বাড়ী হইতে লাইনগুলি এই অফিসে একটি Switch Boardএ শেষ হয়। একজন Operator সংকেত পাইলেই এই লাইনগুলি যোগ করিয়া দেয়।

১১৬। **ডায়নামো (Dynamo):** ব্যাটারি হইতে তড়িৎ প্রস্তুত অনেক ব্যয় পড়িয়া যায়। ইহাতে আলো জ্বালান, পাখা চালান ট্রাম বা গাড়ী চালান খরচের দিক দিয়া সম্ভব নয়। ডায়নামো (Dynamo) বা তড়িতোৎপাদক (Generator) আবিষ্কারে ইহা সম্ভব হইয়াছে। এই যন্ত্রে তড়িৎ উৎপাদনে খুব কম খরচ হয়।

নীতি: এই যন্ত্রে সাক্ষাৎভাবে যান্ত্রিক শক্তি তড়িৎ শক্তিতে রূপান্তরিত হয়। যদি একটি শক্তিশালী চৌম্বক ক্ষেত্রে একটি তারের বদ্ধ (closed) কুণ্ডলীকে এমনভাবে অবিরত ঘুরান যায় যে উহার মধ্য দিয়া অতিক্রান্ত বল রেখার সংখ্যার (flux) পরিবর্তন হয় তবে কুণ্ডলীতে আবিষ্ট E.M.F ও প্রবাহের উৎপত্তি হয়।

যন্ত্র: এই যন্ত্রে নিম্নলিখিত অংশ থাকে:

(ক) **ক্ষেত্র-চুম্বক (Field Magnet)** NS: এই চুম্বকের দুই মেরুর মধ্যে তীব্র চৌম্বক-ক্ষেত্র (exciting field) সৃষ্ট হয়। ছোট ডায়নামোতে

স্থায়ী চুম্বক, বড় ডায়নামোতে তড়িৎ-চুম্বক ব্যবহৃত হয়। ছোট ডায়নামোতে একটি চুম্বক, বড ডায়নামোতে অনেকগুলি চুম্বক থাকে।

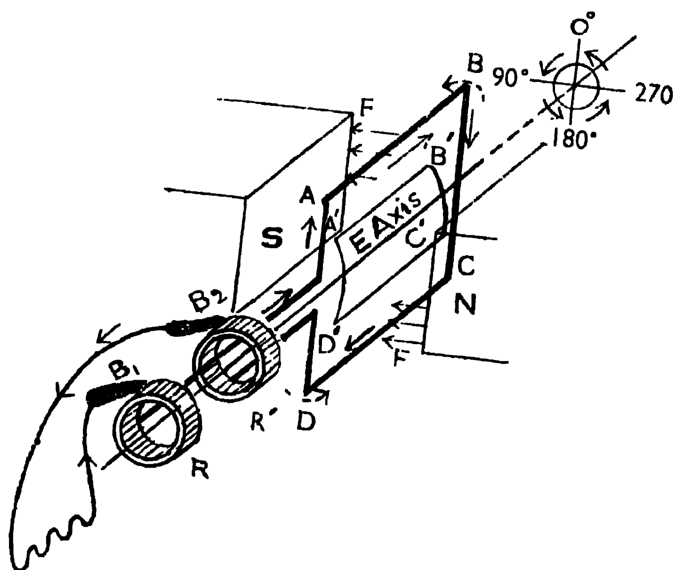
(খ) আর্মেচার (Armature) : ইহা একটি নরম লোহার বদ্ধ চোঙের উপর বহু পাক বিশিষ্ট তারের কুণ্ডলী। এই চোঙটির ভিতর দিয়া একটি অনুভূমিক দণ্ড (shaft) E থাকে। কিন্তু চোঙের ও দণ্ডের মধ্যে অন্তরক থাকে। দণ্ডকে ষ্টীম এঞ্জিন বা তৈল এঞ্জিন দ্বারা ঘুরাইলে কুণ্ডলীসহ চোঙটি চৌম্বক-ক্ষেত্রে অনুভূমিক দণ্ডের চারিধারে ঘুরিতে থাকে এবং চৌম্বক ক্ষেত্রের বলরেখাকে ছেদ করিতে থাকে। কুণ্ডলীর ভিতরের নরম লোহার চোঙ বলরেখার সংখ্যা বৃদ্ধি করে। ১২৮নং চিত্রে একটি কুণ্ডলী ABCD ও নরম লোহার A'B'C'D' চোঙ দেখান হইয়াছে।

(গ) আংটা (Slip Ring) : দুইটি ধাতব অন্তরিত গোল আংটা RR' আর্মেচার তারের দুই প্রান্তে যুক্ত থাকে। আংটা দুইটি E দণ্ডের সহিত সুদৃঢ়ভাবে আটকান থাকে। কিন্তু আংটা ও দণ্ডের মধ্যে অন্তরক থাকে; আর্মেচার ঘুরিলে আংটাও ঘোরে।

(ঘ) ব্রাশ (Brushes) : শক্ত কার্বন বা পাতলা তামার পাতের ব্রাশ B_1 ও B_2 আংটার গায়ে স্প্রীংয়ের জোরে আলগাভাবে ঠলিয়া থাকে। ইহারা বাহিরের বর্তনীর সহিত যুক্ত হয়। আর্মেচারের ঘূর্ণনে যে আবিষ্ট প্রবাহ উৎপন্ন হয় ব্রাশ দুইটি তাহা সংগ্রহ করিয়া P বর্তনীতে পাঠায়।

ক্রিয়া : মনে কর NS চৌম্বক ক্ষেত্রে আর্মেচার অনুভূমিক দণ্ডের চারিধারে অনবরতঃ ঘুরিতেছে সুতরাং ইহার মধ্য দিয়া অতিক্রান্ত চৌম্বক বলরেখার সংখ্যা (flux) অনবরতঃ পরিবর্তিত হয এবং আর্মেচারে আবিষ্ট প্রবাহের উৎপত্তি হয়। আবিষ্ট প্রবাহের দিক নির্ণয় করা যাক। এখানে আর্মেচারের একটি পাক ABCD বিবেচনা করা যাক। মনে কর যখন AB বাহু উপরে 0° ডিগ্রিতে এবং CD বাহু নীচে ১৮০° ডিগ্রিতে থাকে তখন আর্মেচার ঘুরিতে আরম্ভ সরু করে। এই সময় ABCD পাতের তল উল্লম্ব থাকে। সেইজন্য এই সময় পাকের মধ্য দিয়া সর্বোচ্চ সংখ্যক বলরেখা অতিক্রম

করে কারণ চৌম্বক ক্ষেত্রকে মোটামুটিভাবে অনুভূমিক ধরা হয়; AB যতক্ষণে চৌম্বক ক্ষেত্রের মধ্য দিয়া সর্বনিম্ন অবস্থানে ১৮০° ডিগ্রিতে আসে ততক্ষণে CD চৌম্বক ক্ষেত্রের মধ্য দিয়া সর্বো‌চ্চ অবস্থানে O° ডিগ্রিতে ফেরে। পাকের এই **অর্ধ ঘূর্ণয়নে** (O° হইতে ১৮০° পর্যন্ত) ফ্লেমিংএর দক্ষিণ হস্ত নিয়মানুসারে দেখা যায় যে আবিষ্ট E M.F বা প্রবাহ AB বাহুতে A

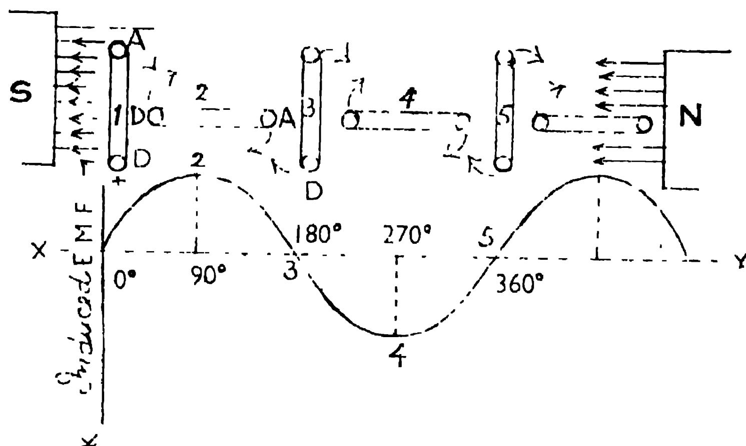


১২৮ নং চিত্র—ডায়নামো

হইতে Bর দিকে এবং CD বাহুতে C হইতে Dএর দিকে প্রবাহিত হয় অতএব AB ও CDতে একই দিকে প্রবাহিত হয়। কুণ্ডলীর আবিষ্ট প্রবাহ B_1 ও B_2 ব্রাশের মধ্য দিয়া P বর্তনীতে যায়। মনে রাখিবে AB যদিও বৃত্তপথে ঘোরে তবুও এই গতির উল্লম্ব বিশিষ্ট বেগের জন্য (vertical component) E.M F সৃষ্ট হয। কারণ গতির অনুভূমিক অংশ চুম্বকীয় বলরেখা ছেদ করে না সুতরাং উহা E.M.Fও সৃষ্ট করে না।

এখন পাকের অপরার্ধ ঘূর্ণয়নে AB বাহু ১৮০° হইতে উপরের দিকে উঠিয়া O°তে এবং CD বাহু O° হইতে নামিয়া ১৮০°তে আসে। এই সময়ে দক্ষিণ হস্ত নিয়মানুসারে দেখা যায় যে কুণ্ডলীতে আবিষ্ট E.M.F বা প্রবাহ বিপরীতমুখী হয়। সম্পূর্ণ ঘূর্ণয়নের (cycle) সময়ের একার্ধে P বর্তনীতে এক নির্দিষ্ট অভিমুখে প্রবাহ চলে এবং অপরার্ধে বিপরীত অভিমুখে প্রবাহ চলে। যদি কুণ্ডলী এক সেকেণ্ডে ৫০ বার পূর্ণ আবর্তন করে তবে বলা হয় যে যন্ত্র ৫০টা cycle সংঘটন করে।

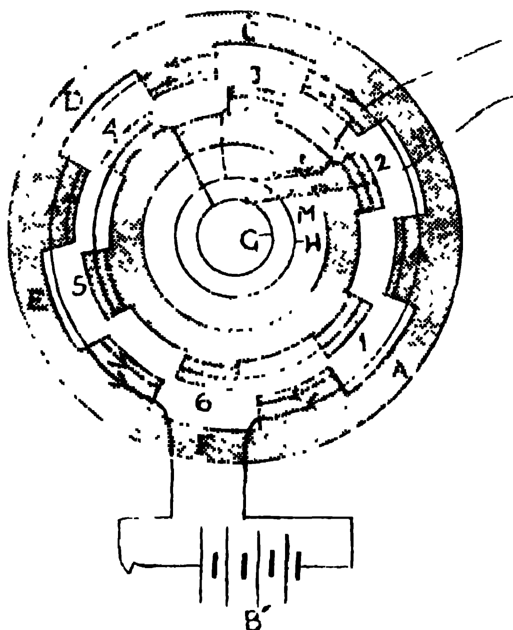
আবিষ্ট E.M.F এর দিক ও মাত্রা : যদিও কুণ্ডলী সমবেগে ঘোরে তবুও কুণ্ডলীর দ্বারা বলরেখা ছেদ করিবার হার কম-বেশী হওয়ায় E.M.F এর মাত্রা



১২৯নং চিত্র—আবিষ্ট E.M.Fএর মাত্রা ও দিক

কম-বেশী হয় সুতরাং আবিষ্ট প্রবাহও কম-বেশী হয়। কুণ্ডলী যখন উল্লম্ব অবস্থানে আসে (চিত্রে 1, 3, 5) তখন বলরেখা ছেদ করিবার হার সর্বাপেক্ষা কম হয় এবং আবিষ্ট E.M.F ও প্রবাহ সর্বাপেক্ষা কম হয় অর্থাৎ শূন্য হয়। উল্লম্ব অবস্থান পার হইলেই E.M.Fএর দিক পরিবর্তিত হয়। কুণ্ডলী যখন অনুভূমিক অবস্থানে আসে তখন বলরেখা কাটিবার হার সর্বাপেক্ষা বেশী হয়

এবং আবিষ্ট E.M.F ও প্রবাহ সর্বাপেক্ষা বেশী হয়। ১২৯নং চিত্রে AD কুণ্ডলীব প্রস্থচ্ছেদ, 1, 3, 5 ADর উল্লম্ব অবস্থান, 2,3,4 অনুভূমিক অবস্থান। চিত্রের নীচের লেখতে (graph) অনুভূমিক XY রেখাতে কুণ্ডলীর O° ডিগ্রি হইতে অবস্থান ও উল্লম্ব KL রেখাতে আবিষ্ট E.M.Fএর মাত্রা দেখান হইয়াছে। 2, 4 অনুভূমিক অবস্থানে E M F সর্বোচ্চ মানে আসে কিন্তু



১৩০নং চিত্র—ছয়মেরুবিশিষ্ট এ. সি. ডায়নামো

বিপরীতমুখী হয়। 1, 3, 5 উল্লম্ব অবস্থানে E.M.Fএর মান শূন্য হয়। 1 হইতে 5 পর্যন্ত একটি সম্পূর্ণ ঘূর্ণন বা cycle। লেখতে দেখা যায় ঘূর্ণয়নের একার্ধে (O° হইতে ১৮০°) E.M.F বা প্রবাহ শূন্য হইতে সর্বোচ্চ মানে পৌছিয়া আবার শূন্য মানে আসে। তৎপরে E M.F বা প্রবাহের দিক পরিবর্তন হইয়া শূন্য হইতে সর্বোচ্চ মানে পৌছিয়া আবার শূন্য মানে

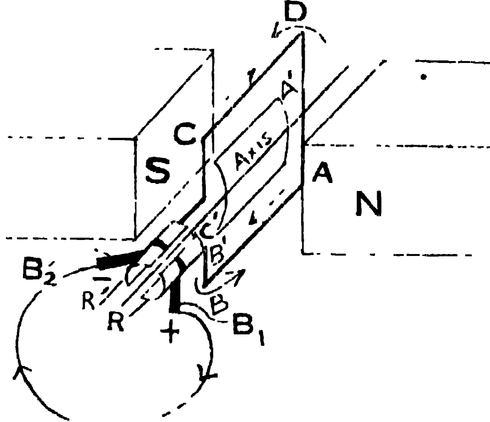
আসে। এই প্রবাহকে **পরবর্তি প্রবাহ** (alternating current A.C.) বলে। এক সেকেণ্ডে প্রবাহের অভিমুখের পরিবর্তনের সংখ্যাকে প্রবাহের **কম্পনাঙ্ক** (frequency) বলে। পববর্তি প্রবাহ উৎপন্ন করে বলিয়া এই যন্ত্রকে **অলটারনেটর** (Alternator, বা A.C Dynamo বলে।

ডায়নামোতে সর্বোচ্চ আবিষ্ট E.M.F নিম্নোক্ত বিষয়ের সহিত সমানুপাতিক হয়; (i) আর্মেচার কুণ্ডলীর বর্গফল, (ii) কুণ্ডলীতে পাকের সংখ্যা, (iii) চৌম্বক ক্ষেত্রের মাত্রা ও (iv) কুণ্ডলীর আবর্তন গতি। জোড়াল চুম্বক ও বেশী পাক বিশিষ্ট আর্মেচার ব্যবহার করিলেও যদি আবর্তন গতি সেকেণ্ডে ২৫এর কম হয় তবে E M.F কমাব সময় আলো নিভিবে। E.M.F বাড়িবার সময় আলো জ্বলিবে; দক্ষিণাংশে ৫০ কম্পাঙ্কের A.C বিলি করা হয়। আধুনিক অলটারনেটরে কয়েক জোড়া ক্ষেত্র?চুম্বক ও ততগুলি কুণ্ডলীযুক্ত আর্মেচার ব্যবহার করা হয়।

১৩০নং চিত্রে ছয়টি মেরু বিশিষ্ট (ABCDEF) অলটারনেটার দেখান হইয়াছে। ইহাদের পাশাপাশি বিপরীত মেরু বর্তমান। অলটারনেটারের মেরুগুলি ব্যাটারির সাহায্যে তড়িৎ-চুম্বকে পরিণত করান হয়। আর্মেচারের ছয়টি কুণ্ডলী 1, 2, 3, 4, 5, 6 শ্রেণীতে সংযুক্ত এবং নরম লোহার উপর অবস্থিত। কুণ্ডলীর তারের দুই প্রান্ত দুইটি আংটা G ও Hএর সঙ্গে সংযুক্ত। আংটা দুইটির উপর M ও K ব্রাশ স্পর্শ করিয়া আছে। আর্মেচারের পাশাপাশি দুইটি কুণ্ডলীতে উল্টাভাবে পাক দেওয়া আছে যেন সকল সময়েই এই কুণ্ডলীতে একই দিকে আবিষ্ট E M F সৃষ্ট হয়। মোট আবিষ্ট E.M.F ছয়টি কুণ্ডলীর E.M.Fএর যোগফলের সমান। প্রত্যেক cycleএ তিনবার প্রবাহ পরিবর্তিত হয়। যদি আর্মেচার এক মিনিটে ১০০০ বার ঘোরে তবে এক মিনিটে ৩০০০ বার প্রবাহ পরিবর্তিত হইবে ∴ কম্পনাঙ্ক সেকেণ্ডে ৫০ বার হইবে। উন্নত অলটারনেটরে আরও বেশী মেরু থাকে।

১১৭। সমপ্রবাহ (Direct Current D.C.), **ডায়নামো যন্ত্র:** কমিউটেটর নামক একটি সরল যন্ত্র দিয়া A.C. ডায়নামোর বহির্বর্তনীর

পরিবর্তি প্রবাহকে একই দিকের প্রবাহে বা সমপ্রবাহে (direct current) পরিণত করা যায়। সুতরাং এই পরিবর্তিত যন্ত্রকে **সমপ্রবাহ ডায়নামো**



১৩১নং চিত্র—ডি, সি, ডাইনামো

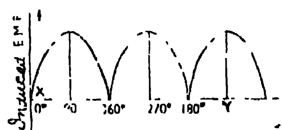
বলে। এই পদ্ধতিকে প্রবাহের **একমুখীকরণ** (Rectification) বলে। এই যন্ত্র সব বিষয়ে অলটারনেটরের মত কেবল দুইটি slip-আংটি R R' এর পরিবর্তে একটি ছোট তামার দুই অর্ধবৃত্তাকার পাত R R' আর্মেচারের দণ্ডের (shaft) সঙ্গে যুক্ত থাকে। এই দুইটি পাত পরস্পর হইতে এবং দণ্ড হইতে অন্তরিত থাকে। আর্মেচার-কুণ্ডলীর তারের দুই প্রান্ত R ও R' পাতের সঙ্গে যুক্ত থাকে। দুইটি কার্বন ব্রাশ B_1B_2 দুইটি পাতের সহিত যুক্ত থাকে। দুইটি ব্রাশের সঙ্গে বহির্বর্তনীর সংযোগ থাকে।

ক্রিয়া: দুইটি খণ্ডপাত ও দুইটি ব্রাশ এমনভাবে ব্যবস্থিত থাকে যে ঘূর্ণনের অর্ধ সময়ে প্রত্যেক পাত (মনে কর R পাত) একটি নির্দিষ্ট ব্রাশের (B_1) সংস্পর্শে থাকে এবং যখন অপরার্ধ সময়ে প্রবাহের অভিমুখ বদলায় (অর্থাৎ যখন কুণ্ডলী উল্লম্ব হয়) তখন উক্ত R পাত B_1 ব্রাশের সংস্পর্শ ত্যাগ করিয়া অপর ব্রাশ B_2র সংস্পর্শে আসে। এই ব্যবস্থায় যে কোন সময়ে একটি নির্দিষ্ট ব্রাশ সেই পাতের সঙ্গে সংযুক্ত হয় যাহার মধ্য দিয়া প্রবাহ কুণ্ডলী হইতে বাহির

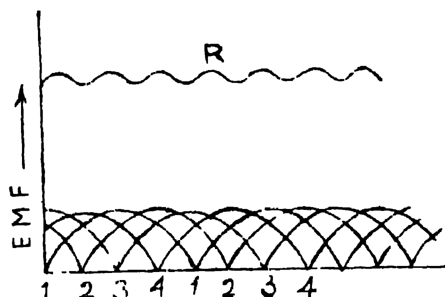
হয়। অর্থাৎ একটি নির্দিষ্ট ব্রাশ সকল সময়েই + তড়িৎ, অপর ব্রাশ—তড়িৎ সংগ্রহ করে।

মনে কর বামাবর্তি ঘূর্ণয়নের প্রথমার্ধে প্রবাহ কুণ্ডলীতে R' হইতে Rতে চলে এবং বহির্বর্তনীতে B_1 হইতে B_2 ব্রাশে চলে এবং ঘূর্ণয়নের অপরার্ধে প্রবাহের অভিমুখ বদলাইলে প্রবাহ কুণ্ডলীতে R হইতে R'তে চলে কিন্তু এই সময়ের মধ্যে R' ও R এর অবস্থান বদলায় সুতরাং R' পাত ধনাত্মক ব্রাশ B_1 এর এবং R পাত ঋণাত্মক ব্রাশ B_2এর সংস্পর্শে আসে। সুতরাং বহির্বর্তনীতে প্রবাহের দিক একই থাকে।

আবিষ্ট E.M E এর মাত্রা: একটি কুণ্ডলী হইতে উৎপন্ন আবিষ্ট E.M.F বা প্রবাহ একমুখীন (unidirectional) হইলেও উহা O হইতে সর্বোচ্চ মানের মধ্যে অনবরতঃ পরিবর্তিত হইবে। ১৩২নং লেখ দ্বারা ইহা বোঝান হইয়াছে। কমিউটেটর কেবল প্রবাহের দিককে একমুখীন করে কিন্তু প্রবাহের এই পর্য্যায়ক্রমিক হ্রাস-বৃদ্ধি বন্ধ করিতে পারে না। এইরূপ অনবরতঃ পরিবর্তনশীল প্রবাহ অনেক কাজের পক্ষে অনুপযোগী। একটি প্রায় নির্দিষ্ট মানের (constant steady strength) E.M.F প্রবাহ পাইবার



১৩২নং চিত্র—আবিষ্ট ই, এম, এফের মাত্রা

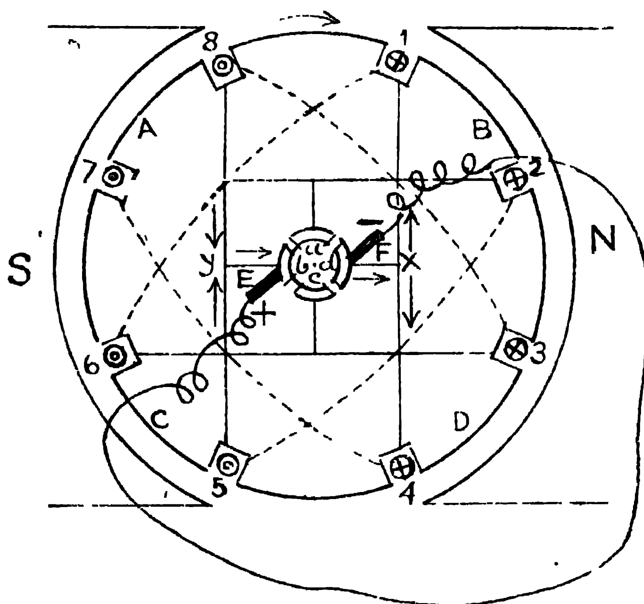


১৩৩নং চিত্র—লব্ধি মাত্রা

জন্য সম্বন্ধে অনেক উন্নতি করা হইয়াছে। আর্মেচারে অনেকগুলি কুণ্ডলী রাখা

হয়। প্রত্যেক দুই কুণ্ডলীর মধ্যে একই কৌণিক ব্যবধান থাকে এবং কমিউটেটরে দ্বিগুণ পাত থাকে। অনেক মেরু বিশিষ্ট চুম্বক ব্যবহার করা হয়। যতগুলি কুণ্ডলী থাকিবে ততগুলি E.M.F বা প্রবাহ উৎপন্ন হইবে। প্রত্যেক কুণ্ডলীর E.M.F ১৩২নং লেখর মত হইবে কিন্তু যে কোন মুহূর্তে দুইটি পাশাপাশি E.M.Fএর দশার (phase) পার্থক্য একই হইবে। দুই ব্রাশে যে E.M.F পাওয়া যায় তাহা হইল সকল E.M.Fএর একত্রীভবনের ফল। এই লব্ধি E.M.F প্রায় নিত্য হয়। ১৩৩নং চিত্রে চারিটি কুণ্ডলীতে উৎপন্ন চারিটি পৃথক E.M.Fএর (1, 2, 3, 4) লব্ধি লেখ (R) দেখান হইয়াছে। লব্ধি-প্রবাহ সামান্য ঢেউয়ের মত আছে অর্থাৎ ইহা অনেকটা নির্দিষ্ট মানে থাকে।

আধুনিক ডায়নামো : (ক) আর্মেচার—আধুনিক সমপ্রবাহ ডায়নামোর



১৩৪নং চিত্র—আধুনিক ডায়নামো

আর্মেচার একটি নরম লোহার পাত দিয়া প্রস্তুত বেলনের (drum) গায়ে সমানভাবে কাটা (uniformly) লম্বালম্বি খাঁজের মধ্যে কুণ্ডলীর তার জড়ান

থাকে। বেলনের নরম লোহা দুইটি কাজ করে—ইহা চৌম্বক বলরেখার সংখ্যা বৃদ্ধি করে এবং ইহা ঘূর্ণীপ্রবাহ বন্ধ করে। বেলনের পাতগুলি পরস্পর হইতে বার্নিশ দ্বারা অন্তরিত থাকে। এইরূপে আর্মেচার ও মেরুর মধ্যে ফাঁক কম হয় এবং খাঁজের মধ্যে কুণ্ডলী খুব শক্তভাবে বসান থাকে। ১৩৪নং চিত্রে চারিটি কুণ্ডলী বিশিষ্ট একটি বেলনের প্রস্থচ্ছেদ ABCD দেখান হইয়াছে। বেলনে যতগুলি কুণ্ডলী থাকে কমিউটেটর ততগুলি ভাগে বিভক্ত হয়। চিত্রে কমিউটেটর চারিটি ভাগে (a, b, c, d) বিভক্ত। প্রত্যেক কুণ্ডলীর দুই প্রান্ত কমিউটেটরের দুইটি বিপরীত খণ্ডে যুক্ত থাকে। প্রত্যেক খণ্ড পাতলা অভ্র দ্বারা অন্তরিত থাকে। চিত্রে কালরেখা কুণ্ডলীর সামনের দিক, এই দিকেই কমিউটেটর বর্তমান। ফুটকি (dotted) রেখা কুণ্ডলীর পশ্চাত দিক। যখন তীর চিহ্নিত দিকে বেলন ঘোরান হইবে তখন ১ হইতে ৪নং পরিবাহীতে দর্শক হইতে দূরে প্রবাহ যাইবে এবং ৫ হইতে ৮নং পরিবাহীতে দর্শকের দিকে প্রবাহ যাইবে। কমিউটেটরের d খণ্ডের আবিষ্ট প্রবাহ x বিন্দুতে দুই অংশে বিভক্ত হয়, এক অংশ ৪, ৭, ২, ৫ নং পরিবাহীর ভিতর দিয়া এবং অপর অংশ ১, ৬, ৩, ৮নং পরিবাহীর ভিতর দিয়া y বিন্দুতে মিলিত হইয়া ব্রাশ E-এর ভিতর দিয়া বহির্বর্তনীতে যায়। আধুনিক যন্ত্রে ব্রাশগুলি কার্বনের তৈরি। ইহাদিগকে স্প্রীং দিয়া কমিউটেটরের সঙ্গে জোরে আটকাইয়া রাখা হয়।

(খ) **ক্ষেত্র-চুম্বক** (Field Magnet): ক্ষেত্রচুম্বক দুই রকম হয়—(১) ম্যাগনেটো-ডায়নামোতে (Magneto Dynamo) সামান্য তড়িৎ সরবরাহ হয়। ইহাতে একটি অশ্বখুরাকৃতি **স্থায়ী চুম্বক** চৌম্বকক্ষেত্র উৎপাদন করে। এই ডায়নামো মটরকারের এঞ্জিনে, ঘণ্টা বাজাইতে ব্যবহৃত হয়। (২) বৃহৎ ডায়নামোতে **তড়িৎচ্চুম্বক** ব্যবহৃত হয়। পরবর্তি-প্রবাহ (A.C.) যন্ত্রে তড়িৎ-চুম্বকের ক্ষেত্র-প্রবাহ * কখন কখন সঞ্চয়ক

* তড়িচ্চুম্বকের ভিতর দিয়া যে প্রবাহ যায় তাহাকে ক্ষেত্র-প্রবাহ (field current) বলে। তড়িচ্চুম্বকের কুণ্ডলীকে ক্ষেত্র-কুণ্ডলী (field coil) বলে। ইহা আর্মেচার কুণ্ডলী হইতে পৃথক। চৌম্বক ক্ষেত্র উৎপাদনকারী চুম্বককে ক্ষেত্র-চুম্বক (field magnet) বলে।

(storage) ব্যাটারি হইতে সরবরাহ করা হয়। অধিকাংশ ক্ষেত্রে আর্মেচার কুণ্ডলীতে উৎপন্ন আবিষ্ট প্রবাহই তড়িৎ-চুম্বককে উত্তেজিত করে। কিন্তু পরবর্তি প্রবাহকে যন্ত্রের মধ্যেই সমপ্রবাহে পরিণত করিয়া লওয়া হয়। সমপ্রবাহ (D.C.) ডায়নামোতে তড়িৎ-চুম্বককে সব সময়েই নিজের আর্মেচার কুণ্ডলীতে উৎপন্ন আবিষ্ট প্রবাহ তড়িৎ-চুম্বকের কুণ্ডলীর মধ্য দিয়া লইয়া উহাকে উত্তেজিত করা হয়। ইহার ফলে চৌম্বকক্ষেত্রে বেশী বলরেখার সৃষ্টি হয়। সুতরাং আবিষ্ট প্রবাহেরও মাত্রা বাড়ে। কতকগুলি ডায়নামোতে কমিউটেটর ও ক্ষেত্র-কুণ্ডলী শ্রেণীতে যুক্ত থাকে; ইহাদিগকে Series wound ডায়নামো বলে। কতকগুলিতে ক্ষেত্র-কুণ্ডলী ও কমিউটেটর সমান্তরালে যুক্ত থাকে, ইহাদিগকে Shunt-wound ডায়নামো বলে। কতকগুলিতে ক্ষেত্র কুণ্ডলীর খানিকটা শ্রেণীতে ও খানিকটা সমান্তরালে আর্মেচারের সঙ্গে যুক্ত থাকে। ইহাদিগকে Compound wound ডায়নামো বলে। আর্মেচার অক্ষ (axis বা shaft) একটি ঘূর্ণন চক্রের (fly wheel) সঙ্গে যুক্ত হয়। ঘূর্ণন চক্র আবার এঞ্জিনের সঙ্গে ফিতা (belting) দিয়া যুক্ত থাকে। এঞ্জিন ঘুরিলে আর্মেচার ঘোরে।

১১৮। **মটর** (Motor) **: নীতি :** এই যন্ত্রে তড়িৎ শক্তি হইতে যান্ত্রিক শক্তি পাওয়া যায়। যদি কোন চৌম্বকক্ষেত্রে কোন কুণ্ডলীর মধ্য দিয়া তড়িৎ প্রবাহিত হয় তবে কুণ্ডলীটি তড়িচ্চুম্বকীয় বলের প্রভাবে এমন অবস্থানে সরিয়া আসে যেখানে কুণ্ডলীর তল চৌম্বক বলরেখার উপর অভিলম্ব হয়। কিন্তু কুণ্ডলীর ভরবেগ উহাকে অভিলম্ব অবস্থানের বাহিরে লইয়া যায়। যদি কুণ্ডলীর সঙ্গে কমিউটেটর যোগ করিয়া প্রত্যেক উল্লম্ব অবস্থানে কুণ্ডলীর মধ্য দিয়া প্রবাহের অভিমুখ পরিবর্তন করা যায় তবে কুণ্ডলীটি একই দিকে অনবরত ঘুরিতে থাকে। অতএব দেখা যায় যে মটরের নীতি ডায়নামোর ঠিক বিপরীত। ডায়নামোতে আর্মেচারকে চৌম্বকক্ষেত্রে ঘুরাইয়া আর্মেচার-প্রবাহ উৎপন্ন করা হয়। ডায়নামোর স্থির আর্মেচারে যদি বাহির হইতে প্রবাহ চালান যায় তবে আর্মেচার চৌম্বক ক্ষেত্রে ঘুরিতে থাকিবে। ডায়নামো মটরে পরিণত

হয়। আর্মেচারের দণ্ডের (axle) সঙ্গে পাখার ফলক (blade) যুক্ত করিলে পাখা চালান যায়। এইরূপে ট্রাম গাড়ী, সিনেমা যন্ত্র, জলপাম্প প্রভৃতি চালান যায়।

মটরের বিপরীত E. M. F. (Back E. M. F.): মটর যখন পূর্ণ বেগে চলে তখন ইহার আবর্তিত আর্মেচার চৌম্বকীয় বলরেখা কাটিতে থাকে। ইহার ফলে আর্মেচারে একটি আবিষ্ট E. M. F. ও প্রবাহের সৃষ্টি হইবে। মনে কর একটি ব্যাটারি D. C. series wound মটরের সঙ্গে যুক্ত আছে। মনে কর আর্মেচারের রোধ=R ওহম। ব্যাটারির E. M. F.=e ভোল্ট হয়।

$$\therefore \text{ স্থির মটরে প্রবাহ } i = \frac{e}{R}$$

যদি বিপরীত E. M. F.=e′ ভোল্ট হয় তখন চলমান মটরে প্রবাহ

$$i' = \frac{e - e'}{R} \text{ হইবে।}$$

যখন স্থির মটর চালান সুরু করা হয় তখন কোন বিপরীত E. M. F. থাকে না কারণ তখনও আর্মেচারের কোন গতি থাকে না। সুতরাং মটর চালানর সময়েই যদি পূর্ণ মাত্রা E. M. F. দেওয়া যায় তবে প্রবাহ $\left(\frac{e}{R}\right)$ খুব বেশী হইবে, ইহাতে আর্মেচার পুড়িয়া যাইবে। সেইজন্য পরিবর্তনশীল রিওষ্টেট আর্মেচারের সঙ্গে শ্রেণীতে যোগ করা হয়। এই রিওষ্টেটকে starter বলে। মটর চালানর সময়ে starterএ বেশী রোধ রাখা হয়। মটরের গতি বাড়িবার সঙ্গে সঙ্গে starterএর রোধও কমাইয়া দেওয়া হয় কারণ বিপরীত E. M. F. তখন মূল প্রবাহকে একটি নির্দিষ্ট মাত্রায় রাখে। ট্রামের চালক হাতল ঘুরাইয়া ভিতরের starterএর রোধ কমাইয়া দেয়। তড়িৎকেন্দ্রের (Power House) ডায়নামো হইতে ঊর্ধ-তার (overhead line) দিয়া ট্রামে প্রবাহ যায়। ইহাকে ট্রলি তার (Trolley wire) বলে। ট্রাম-গাড়ীর ছাদে একটি দীর্ঘ ধাতব দণ্ডের (pole) শেষ প্রান্তে ছোট ধাতব

চাকা জোড়া থাকে। চাকাটি ট্রলির তারের গায়ে লাগান থাকে। প্রবাহ লাইন হইতে দণ্ডের মধ্য দিয়া একটি তারের সাহায্যে গাড়ীর নীচে মটরে যায় তথা হইতে রেল দিয়া প্রবাহ তড়িৎ-কেন্দ্রে ফিরিয়া যায়।

১১৯। কেন্দ্র হইতে তড়িৎ সরবরাহ: অনেক ক্ষেত্রে বিশেষতঃ জলশক্তি দ্বারা উৎপন্ন তড়িৎ সরবরাহ কেন্দ্র হইতে তারের (supply main) সাহায্যে বহু দূরে দূরে তড়িৎ সরবরাহ করা হয় কিন্তু এই তারের রোধের জন্য কিছু তড়িৎশক্তি তাপশক্তিতে রূপান্তরিত হইয়া নষ্ট হইয়া যায়। যদি তারের প্রবাহ= i অ্যাম্পিয়ার, রোধ=R ওহম হয় তবে i^2R ওয়াট তাপ নষ্ট হইবে। Rকে দুই উপায়ে কমান যায়:—(i) কম রোধাঙ্ক বিশিষ্ট পদার্থের তার ব্যবহার করিয়া যথা এ্যালুমিনিয়াম, তামা। (ii) মোটা তার ব্যবহার করিয়া। কিন্তু মোটা তারের দাম খুব বেশী পড়ে। আবার iকে অর্ধেক কমাইলে তাপ সিকি হয়। আমরা জানি ওয়াটে তড়িৎ-ক্ষমতা (power) P=ভোল্টে বিভব-ভেদ V× অ্যাম্পিয়ারে প্রবাহ i ∴ P=V×i সুতরাং বিভব-ভেদ Vকে দ্বিগুণ করিলে iকে অর্ধেক করা যায় কারণ

$$P=২V\times\frac{i}{২}$$

অতএব বিভব-ভেদ বাড়াইয়া প্রবাহ কমাইয়া দিলে খরচ খুব কম হয় অথচ তড়িৎক্ষমতা P একই থাকে যথা ১০০ অ্যাম্পিয়ার, ভোল্টে যে ক্ষমতা দিবে ১ অ্যাম্পিয়ার ১০০০ ভোল্টে একই ক্ষমতা দিবে। অথচ শেষোক্ত ক্ষেত্রে প্রথম ক্ষেত্রের $\frac{১}{১০০০০}$ ভাগ তাপ শক্তি নষ্ট হয়। গৃহস্থালী কাজে ২২০ ভোল্টের বেশী বিভব-ভেদ ব্যবহার করা বিপজ্জনক কারণ ইহাতে তড়িতাহত হইবার (electric shock) বা সরল-বর্তনী (short circuit) হইবার আশঙ্কা থাকে। তড়িৎ-রেল বা অন্যান্য বাণিজ্যিক শিল্পে ৪৪০ বা ৫০০ ভোল্ট ব্যবহার করা হইতে পারে। সুতরাং তড়িৎ-সরবরাহে প্রথমে উচ্চ বিভবযুক্ত প্রবাহ সরবরাহ করিয়া গৃহে ব্যবহারের ঠিক পূর্বে নিকটবর্তি স্থানে উহাকে অবরোহী রূপান্তরকের (step-down transformer) সাহায্যে

নিম্ন বিভবে আনা হয়। D.C. প্রবাহে কমিউটেটরকে অন্তরিত করার অসুবিধার জন্য বিভব-ভেদ ১৫০০ ভোল্টের বেশী পাওয়া যায় না সুতরাং খুব দূর হইতে উচ্চ বিভবযুক্ত প্রবাহ সরবরাহ করিতে A.C. প্রবাহ ব্যবহার করা হয়। নায়গ্রা জলপ্রপাতের নিকটে ২০০০—১২০০০০ ভোল্টে প্রবাহ উৎপন্ন হয়। তৎপরে আরোহী রূপান্তরকের (step-up transformer) সাহায্যে ১০০০০০ ভোল্টে পরিণত করা হয়। তৎপরে গৃহে গৃহে সরবরাহের পূর্বে উহাকে নিরাপদ ভোল্টে আনা হয়। অল্প দূরে তড়িৎ সরবরাহে D.C. বা A.C. দুই প্রকার যন্ত্র ব্যবহার করা যায়। A.C. প্রবাহকে কমিউটেটর দিয়া D.C.তে পরিবর্তন করা যায়। D C. প্রবাহ সরবরাহে দুইটি তারের মধ্যে যেটি উচ্চ বিভবে থাকে তাহাকে **ধনাত্মক তার** বলে এবং যেটি নিম্নবিভবে থাকে তাহাকে **ঋণাত্মক তার** বলে। A C. প্রবাহ সরবরাহে প্রবাহের অভিমুখ অনবরত বদলায় সেইজন্য প্রত্যেক তারই একবার উচ্চ বিভবে, পরমুহূর্তে নিম্ন বিভবে থাকে। প্রতি সেকেণ্ডে প্রবাহের পরিবর্তনের সংখ্যাকে **কম্পনাঙ্ক** (frequency বা cycle) বলে। অধিকাংশ সহরে (A.C.) কম্পনাঙ্ক ৫০ বার প্রতি সেকেণ্ড। ইহাকে লেখা হয় '210 volts, 50 cycles'. বেতার বর্তনীতে (wireless circuit) প্রতি সেকেণ্ডে কয়েক লক্ষ কম্পনাঙ্ক সম্ভব হয়।

১২০। **AC প্রবাহের : (ক) সুবিধা :** A.C প্রবাহ উপযুক্ত রূপান্তরক দ্বারা উচ্চ বিভবে কম মাত্রা হইতে নিম্ন বিভবে বেশী মাত্রায় পরিণত করা যায়। ইহাতে কম শক্তি নষ্ট হয়। কিন্তু D.C প্রবাহকে এইরূপ রূপান্তরিত করা যায় না। অধিকাংশ সরবরাহ কেন্দ্র হইতে A.C প্রবাহ সরবরাহ হয়। **অসুবিধা :** একই বিভবে D.C প্রবাহ অপেক্ষা A.C প্রবাহ বেশী বিপজ্জনক। A.C প্রবাহ দ্বারা তড়িৎ বিশ্লেষণ ও ব্যাটারি চার্জ হয় না।

১২১। **তড়িৎ ব্যবহারে বিপদ :** শুষ্ক চামড়ার রোধ প্রায় ৫০০০০ ওহম, ভিজা চামড়ার রোধ ২০০—৩০০ ওহম। সুতরাং ভিজা হাতে বা

ভিজা মাটিতে দাঁড়াইয়া কোন তড়িৎ যন্ত্র নাড়া উচিৎ নয়। তড়িতাহিত (electric shock) করিবার জন্য $\frac{1}{1000}$ অ্যাম্পিয়ারই যথেষ্ট। তারে অন্তরণ ভাল না হইলে প্রায় আগুন লাগিয়া যায়। দুইটি তারের অন্তরণ নষ্ট হইয়া যাইলে যদি উহারা গায়ে গায়ে লাগিয়া থাকে তবে সেই স্থানে আগুন লাগিয়া যায়। শুষ্ক হাতে ১০০—২০০ ভোল্ট পর্যন্ত প্রবাহ স্পর্শ করা যায় কিন্তু ভিজা হাতে ১০০ ভোল্টের প্রবাহেই বিপদ হইতে পারে।

প্রশ্ন

1 Describe an electric glow-lamp. (a) Why does the filament of the lamp become hot while the wires leading to it remains comparatively cold? (b) An electric lamp is marked '40 watts, 200 volts'. Explain these terms. What will be the strength of the current passing through its filament? (c) 'The current consumption of such a lamp is one unit in in hours'. Comment on the statement. (C. U. 1932)

2. Describe in detail with neat sketches the component parts of the electric bell?

(C. U. 1925, '28, '30, '43, '45 ; Pat. 1921, '31, '32. '40, '47 , All. 1920, '24)

What kind of cell will you use for working such bells? In a certain factory steel was once used by mistake instade of soft iron to make the cores of an electro-magnet for some bells What should be the matter with the bells? (Pat. 1924)

(Hints,—As the steel core will not readily demagnetise itself after the current is stopped, the armature will be held up by magnetised steel core and will not easily move to-and-fro, and so the bell will not work properly)

3. Explain the action of a telephone with the help of a diagram.

(C. U. 1920, '21, '24, '24, '25 '26, '28. '30 , Pat. 1931, '44 ; All. 1922, '24, '28)

4. A railway carriage is lit up from a 15 volt battery by 12 lamps

each taking 1·5 amps. and arranged in parallel. Find the resistance of of a lamp and total power used in lighting compartments. (Dec. 1934)

5. Explain, giving neat diagram, a telephone system, and state the function of each part. (Pat. 1937 ; cf. C. U. '40)

6. Write short notes on the following :—

(a) telephone, (b) michrophone, (c) a simple electric motor. (C. U. 1938, cf. '42)

7. Explain the principle of the electric telegraph, (C. U. 1915, '30 , Pat. '32, '44, '47)

Draw a diagram of Morse's Sounder. (C. U. 1925)

8. Describe the construction and action of a dynamo. (All. 1920, '21, 29 ; Pat. '44)

(a) Describe a simple method of obtaining an alternating current. How would you proceed to change the alternating current to a direct current ? (C. U. 1947)

9. Write a brief essay on electricity in the service of man. (C. U. 1914)

গ্যাসের মধ্য দিয়া তড়িৎ-মোক্ষণ ও তেজস্ক্রিয়া

(Discharge through gases and radioactivity)

১২২। সাধারণ চাপে তড়িৎ-মোক্ষণ ঃ সাধারণ (Normal) চাপে মহাজাগতিক রশ্মি (cosmic ray) বা Uranium বা Thorium প্রভৃতি তেজস্ক্রিয় পদার্থের প্রভাবে বায়ুর উপাদানের প্রতি ঘন সেন্টিমিটারে মাত্র ২০-২৫টি অণু আয়নিত থাকে। সুতরাং সামান্য আয়নের জন্য সাধারণ চাপে বায়ু বা অন্যান্য গ্যাসের মধ্য দিয়া তড়িৎ পরিবাহিত (conduct) হয় না। ইহা ভাল অন্তরকের কাজ করে। খুব বেশী ভোল্টে না হইলে বায়ুর মধ্য দিয়া তড়িৎ মোক্ষিত হয় না। আবেশ-কুণ্ডলীর দুই প্রান্ত-বন্ধনী যখন খুব কাছাকাছি থাকে উহাদের মধ্যে তড়িৎ পরিবাহিত হয় এবং স্ফুলিঙ্গ (spark) দেখা যায়। যে ব্যবধানে যে ভোল্টে স্ফুলিঙ্গ দেখা

যায় তাহাকে যথাক্রমে স্ফুলিঙ্গ-ব্যবধান ও স্ফুলিঙ্গ-বিভব (sparking gap ও sparking potential) বলে। স্ফুলিঙ্গ-ব্যবধান বাড়াইবার সঙ্গে সঙ্গে স্ফুলিঙ্গ-ভোল্ট বাড়াইতে হয় নচেৎ বায়ুর মধ্য দিয়া তড়িৎ মোক্ষিত হয় না। ১ সেণ্টিমিটার ব্যবধানে স্ফুলিঙ্গ-বিভব ২০,০০০ ভোল্ট হওয়া চাই।

১২৩। **বায়ুর চাপ ও পরিবাহিতা :** একটি বদ্ধ নলের বায়ুর ভর পাম্প দিয়া বাড়াইলে বা কমাইলে বায়ুর চাপ বাড়িলে বায়ুর তড়িৎ পরিবাহিতা কমে, চাপ কমিলে তড়িৎ পরিবাহিতা বাড়ে। ইহাই হইল সাধারণ নিয়ম কিন্তু বায়ুর চাপ কমিবার সঙ্গে সঙ্গে নানা রকম অদ্ভুত ঘটনা ঘটিতে দেখা যায়।

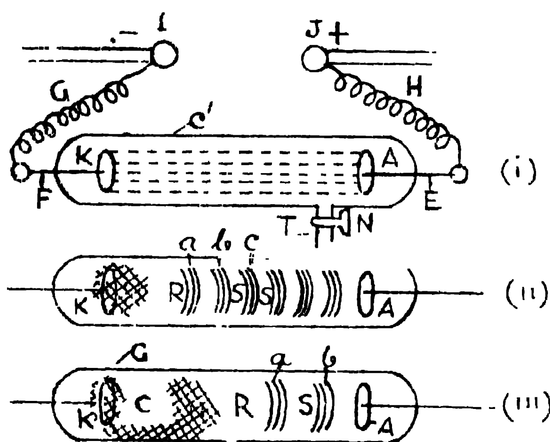
যন্ত্র : একটি গোল প্রান্ত বিশিষ্ট দীর্ঘ ও মোটা কাচনল C'এর নীচে একটি সরু পার্শ্বনল T থাকে। এই নলটি প্রায় ৫০ সেঃ মিটার দীর্ঘ হয়। এই কাচনলকে **মোক্ষণ-নল** (discharge tube) বলে। Tতে একটি stop-cock N আছে। এই পার্শ্বনল দিয়া পাম্পের সাহায্যে C' নল হইতে বায়ু নিষ্কাশন করা হয়। পার্শ্বনলের সহিত যুক্ত একটি চাপ-মাপকের (Manometer) সাহায্যে বায়ু-নিষ্কাশনের মাত্রা পাওয়া যায়। নলের দুই দিকে দুইটি প্লাটিনাম-তার F E e গলান থাকে। F ও E তারের প্রান্তে চাকতির (disc) আকারে দুইটি এ্যালুমিনিয়ামের তড়িৎ-দ্বার K ও A ঝাল দিয়া লাগান থাকে। তড়িৎ-দ্বার দুইটি G ও H তার দিয়া আবেশ-কুণ্ডলীর গৌণ কুণ্ডলীর I ও J বর্তুলের সঙ্গে যুক্ত থাকে। সাধারণ অবস্থায় বায়ুর চাপ ৭৬০ মিঃ মিটার পারদ-স্তম্ভের চাপের সমান। নিষ্কাশনের (exhaustion) মাত্রা মিঃ মিটারে পারদ-স্তম্ভের দৈর্ঘ্য দ্বারা বর্ণিত হইবে।

পরীক্ষা : এইবার পাম্পের সাহায্যে মোক্ষণ-নলের বায়ুর চাপের হ্রাসের সঙ্গে পর পর কি কি ঘটনা হয় তাহা নিম্নে বর্ণিত হইল :—

(ক) **সাধারণ চাপে** বায়ু তড়িৎ পরিবহন করে না এবং বায়ুনলের ভিতরে দুই তড়িৎ-দ্বারের দূরত্ব বেশী থাকায় আবেশ-কুণ্ডলীর আবিষ্ট তড়িৎ দুই দ্বারের মধ্য দিয়া না যাইয়া দুই বর্তুলের মধ্য দিয়া স্ফুলিঙ্গাকারে প্রবাহিত হয়।

(খ) চাপ যখন পারদ-স্তম্ভের ৪০ **মিঃ মিটারে** পৌছায় তখন মোক্ষণ-নলে বায়ুর রোধ কমে এবং তড়িৎ মোক্ষণ সুরু হয়। মোক্ষণের রূপ **তড়িৎ দ্বারে লম্বা সরু স্ফুলিঙ্গের** মত হয়। নলের অপবাংশ অন্ধকারে থাকে। ইহাকে **অন্ধকার মোক্ষণ** (Dark Discharge) বলে।

(গ) চাপ যখন ১০ **মিঃ মিটারে** পৌছায় তখন ক্যাথোডের সামনে কিছু নীলাভযুক্ত আলোর (N) আবির্ভাব হয়। এই আলোকে **ঋণাত্মক ছটা**



১৩৫ নং চিত্র—গ্যাসের ভিতর দিয়া তড়িৎ-মোক্ষণ

(Negative Glow) বলে। এই ছটার সামনে কিছু অন্ধকার অংশ R থাকে। ইহাকে **ফ্যারাডের অন্ধকার স্থান** (Faraday's Dark Space) বলে। এই সময়ে মোক্ষণের ক্ষীণ আলোয় সমস্ত নল ভর্তি হয়।

(ঘ) চাপ যখন ৫ **মিঃ মিটারে** পৌছায় তখন অ্যানোডের সম্মুখে উজ্জ্বল আলোর আবির্ভাব ঘটে। ইহা অ্যানোড হইতে প্রায় ক্যাথোড পর্যন্ত নিরবচ্ছিন্নভাবে বিস্তৃত হয়। ইহাকে **ধনাত্মক স্তম্ভ** (Positive Column) বলে। মোক্ষণ-নলের গ্যাসের প্রকৃতির উপর এই স্তম্ভের বর্ণ নির্ভর করে।

(ঙ) চাপ যখন ৩ **মিঃ মিটারে** পৌছায় তখন ধনাত্মক স্তম্ভের উজ্জ্বলতা

কমে এবং স্তম্ভটি কতকগুলি ছোট ছোট **আলোর চাকতিতে** (disc বা striations) পৃথক হইয়া যায়। (চিত্রে a, b, c, d ইত্যাদি)। চাকতির মাঝখানে অন্ধকার স্থান (S) থাকিয়া যায়। চাকতির দৈর্ঘ্য ও সংখ্যা গ্যাসের চাপ ও তড়িতের প্রবাহ-মাত্রার উপর নির্ভর করে।

(চ) চাপ যখন **৩ হইতে ২ মিঃ মিটারের** কাছাকাছি নামে তখন আলোর চাকতি, ফ্যারাডের অন্ধকার অংশ ও ঋণাত্মক ছটা সমস্ত একসঙ্গে অ্যানোডের দিকে ধীরে ধীরে সরিতে থাকে। শেষে **২ মিটারের** কাছে ঋণাত্মক ছটা ক্যাথোড হইতে বিচ্ছিন্ন হয় এবং ক্যাথোডের সামনে আবার অন্ধকার অংশের (C) আবির্ভাব হয়। এই অন্ধকার স্থানকে **ক্রুকের অন্ধকার স্থান** (Crooke's Dark Space) বলে। এই সময় ক্যাথোডটি একটি বেগুনী বর্ণের আলোকে আবৃত হয়। এই আলোককে **ক্যাথোড ছটা** (Cathode Glow) বলে। এই ছটা ক্যাথোড হইতে ধাতব বাষ্পের উদ্ভবের ফলে সৃষ্ট হয়। এই সময়ে চাকতির সংখ্যাও কমে।

(ছ) চাপ যখন 0·১ **মিঃ মিটারে** পৌঁছায় তখন ক্রুকের অন্ধকার স্থনা ক্যাথোড হইতে ১ সেঃ মিটার পর্যন্ত বিস্তৃত হয়। এখন হইতে নলের ভিতরের বায়ুর রোধ বৃদ্ধি পাইতে থাকে। যতই চাপ কমিতে থাকে ততই ধনাত্মক স্তম্ভ অ্যানোডের দিকে সরিয়া যায় এবং ইহার দৈর্ঘ্য কমিতে থাকে।

(জ) চাপ যখন ·০১ মিঃ মিটারে পৌঁছায় তখন ধনাত্মক স্তম্ভ একবারেই অদৃশ্য হয় এবং সমস্ত নল ক্রুকের অন্ধকার অংশে পূর্ণ হয়। এই অবস্থায় ক্যাথোড হইতে অভিলম্বভাবে ইলেক্ট্রোন নির্গত হয়। ইলেক্ট্রোনগুলি ঋণাত্মক আধানে আহিত কণা। এই ইলেকট্রোনগুলি কোন আলো দেয় না কিন্তু ক্যাথোডের সামনে কাচনলের ভিতর গায়ে আঘাত করিয়া সেই অংশকে প্রতিপ্রভ (fluorescent) করে। সোডা-কাচে (soda glass) প্রতিপ্রভের বর্ণ উজ্জ্বল সবুজ এবং সীসার কাচে (lead glass) প্রতিপ্রভের বর্ণ গাঢ় নীল হয়। ইলেক্ট্রোনগুলি অদৃশ্য রশ্মিরূপে ক্যাথোড হইতে অভিলম্বভাবে এ্যানোডে যায়। এই অদৃশ্য রশ্মিকে **ক্যাথোড রশ্মি** (Cathode Rays) বলে। তবে নলে

অবশিষ্ট সামান্য গ্যাসের অণুর সহিত ক্যাথোড রশ্মির সংঘাতে রশ্মিগুলির পথটা একটু ফিকে বেগুনী রংয়ের হয়।

(ঝ) চাপ যখন $১০^{-৫}$ — $১০^{-৬}$ মিঃ মিটারে পৌছায় তখন যত বেশী বিভব প্রয়োগ করা হউক নলের বায়ুর মধ্য দিয়া কোন তড়িৎ যাইবে না। তখন নলের বাহির দিয়া তড়িৎ মোক্ষণ হইতে পারে।

সারাংশ :—

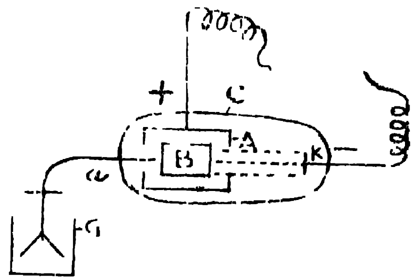
চাপ	ঘটনা	চাপ	ঘটনা
৭৬০ মিঃ মিঃ	মোক্ষণ হয় না	২ মিঃ মিঃ	ক্রুকের অন্ধকার স্থান ক্যাথোড ছটা
৪০ ,, ,,	অন্ধকার মোক্ষণ		
১০ ,, ,,	ঋণাত্মক ছটা ও ফ্যারাডের অন্ধকার স্থান।	·১ ,, ,,	ক্রুকের অন্ধকার স্থান বৃদ্ধি
৬ ,, ,,	ঋণাত্মক স্তম্ভ।	·০১ ,, ,,	ধনাত্মক স্তম্ভ অদৃশ্য, নল ক্রুকের অন্ধকার অংশে পূর্ণ।
৩ ,, ,,	আলোর চাকতি ও অন্ধকার স্থান	$১০^{-৫}$,, ,,	ক্যাথোড রশ্মির আবির্ভাব, তড়িৎ-মোক্ষণ বন্ধ।

উইলিয়াম ক্রুকস্ (William Crookes), জে, জে, টম্‌সন (J. J. Thomson), লেনার্ড (Lenard) প্রভৃতি বৈজ্ঞানিকগণ গ্যাসের ভিতর দিয়া তড়িৎ মোক্ষণের বিষয় গবেষণা করেন।

১২৪। **গেস্‌লার নল** (Geisslers' tube) : মোক্ষণ-নলের ধনাত্মক স্তম্ভের বর্ণ গ্যাসের প্রকারের উপর নির্ভর করে। বায়ুতে স্তম্ভ লাল, হাইড্রোজেনে

নীল কিংবা লাল, নাইট্রোজেনে লাল, কারবন-ডাই-অক্সাইডে সাদা হয়। দুইটি এ্যালুমিনিয়ামের তড়িৎ-দ্বার বিশিষ্ট বিভিন্ন সুন্দর আকারের বা অক্ষরের ছোট ছোট কাচ নল ছয় মিঃ মিটারের কাছাকাছি চাপে নানা রকম গ্যাসে ভর্তি করিয়া আবেশ-কুণ্ডলীর সঙ্গে যোগ করিলে বিচিত্র বর্ণের অক্ষর ও পদার্থ দেখা যায়। এই সকল নল দিয়া রাত্রে বিভিন্ন পদার্থের বিজ্ঞাপন দেওয়া হয়। নিষ্ক্রিয় গ্যাস যথা নিয়ন, আরগন ব্যবহার করিলে ২২০ ভোল্টেই বর্ণ-মোক্ষণ (colour discharge) পাওয়া যায়। নিয়নের আলোর রং লাল, আরগনের নীল হয়। এই নলগুলিকে **গেস্‌লার নল** বলে। এই নল বর্ণালির পরীক্ষায়ও ব্যবহৃত হয়।

১২৫। ক্যাথোড রশ্মি : আমরা পূর্বে দেখিয়াছি যে $১০^{-৩}-১০^{-৪}$ মিঃ মিটার চাপে মোক্ষণ-নলের ভিতর তড়িৎ প্রবাহ অতিক্রম করাইলে সমস্ত নলটি অন্ধকারে ভরিয়া যায় কেবল ক্যাথোডের সামনে নলের গাত্র প্রতিপ্রভ হয়। এই প্রতিপ্রভাব কারণ সম্বন্ধে গবেষণা করিয়া ক্রুকস, রঞ্জেন (Rontgen) ও টমসন স্থির করেন যে ক্যাথোড হইতে তড়িৎ শক্তি দ্বারা উৎপন্ন উপরোক্ত অদৃশ্য রশ্মির নলের গাত্রে সংঘাতের ফলে প্রতিপ্রভার সৃষ্টি হয়। এই অদৃশ্য রশ্মি ঋণাত্মক আধানে আহিত কণার বা ইলেক্‌ট্রোনের সমষ্টি। এই রশ্মিকে **ক্যাথোডে রশ্মি** বলে। সুতরাং ক্যাথোড রশ্মি খুব গতি বিশিষ্ট ঋণাত্মক কণার বা ইলেক্‌ট্রোনের সমষ্টি। প্রত্যেক ইলেক্‌ট্রোনের ভর ৯×১০^{-২৮} গ্রাম অর্থাৎ হাইড্রোজেনের ভরের $\frac{১}{১৮৪০}$ ভাগ



১৩৬ নং চিত্র

ইলেক্‌ট্রোনের আধান $=৪\cdot৭৮\times১০^{-১০}$ E. S. U. $=১\cdot৬\times১০^{-২০}$ E. M. U $=১\cdot৬\times১০^{-১৯}$ কুলম্ব। ইলেক্‌ট্রোনের ভরের অপেক্ষা বা ইলেক্‌ট্রোনের আধানের অপেক্ষা কম ভর বা কম আধান আজ পর্য্যন্ত পৃথক করা যায় নাই।

মোক্ষণ-নলে যে কোন গ্যাসই রাখা যাউক ক্যাথোড রশ্মির প্রকৃতি সব ক্ষেত্রে এক রকম হয়। ইহা হইতে অনুমান করা হইয়াছে যে এই ণাক বা ইলেক্ট্রোন সকল পদার্থেরই মূল কণা (fundamental)।

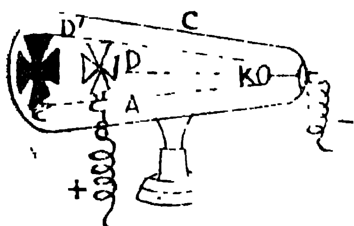
১২৬। ক্যাথোড রশ্মির গুণ (Properties of Cathode Rays) :

(ক) ক্যাথোড রশ্মির প্রত্যেক কণা ঋণাত্মক আধান বহন করে।

পরীক্ষা : C মোক্ষণ-নলের মধ্যে বায়ুর চাপ প্রায় $^{-১}$ মিঃ মিঃ। C নলের ক্যাথোড হইল K। B এক মুখ বন্ধ ও এক মুখ খোলা একটি এ্যালুমিনিয়াম নল। B নলকে a প্লাটিনাম তার দিয়া একটি G তড়িৎ-বীক্ষণের সঙ্গে যোগ করা থাকে। B নলকে একটি বড A নলেব মধ্যে বসানো হয়। A নলটি অ্যানোডের কাজ করে। এখন মোক্ষণ-নলের মধ্য দিয়া তড়িৎ প্রবাহ ঘটিলে ক্যাথোড হইতে ইলেক্ট্রোনগুলি B এর উপর আপতিত হয ও Bকে তড়িতাহিত করে। এখন দেখা যায় যে তড়িৎবীক্ষণের স্বর্ণপত্র ঋণাত্মক তডিতে আহিত হইয়া পৃথক হইবে। অতএব দেখা যায় যে রশ্মিগুলি ঋণাত্মক তড়িতে আহিত হয়। প্রত্যেক কণা $১{\cdot}৬ \times ১০^{-১৯}$ কুলম্ব তড়িৎ বহন করে। (১৩৬ নং চিত্র)

(খ) ক্যাথোড রশ্মি ক্যাথোড হইতে সরল পথে গমন করে।

পরীক্ষা : ১৩৭ নং চিত্রে C মোক্ষণ-নল। K ক্যাথোড। A অ্যানোড। অ্যানোডের উপরে ও ঠিক ক্যাথোডের সমান্তরালে একটি অভ্রের ক্রুশ D রাখা হয়। নলের মধ্যে বায়ুর চাপ $১০^{-৩}$ সেঃ মিঃ থাকে। এখন নলের মধ্য দিয়া তডিৎ মোক্ষণ করিলে ক্যাথোড হইতে কণাগুলি সরল পথে Dএর উপর পতিত হয়। কিন্তু Dকে ভেদ করিয়া যাইতে পারে না সেজন্য Dএর একটি ছায়া ক্যাথোডের বিপরীত দিকে মোক্ষণ-নলের পিছনের গায়ে Bতে পড়ে। ছায়ার চারিপাশে কাচের গায়ে প্রতিপ্রভা দেখা যায় কিন্তু ছায়ার স্থানে কোন ক্যাথোড রশ্মি পড়ে



১৩৭ নং চিত্র

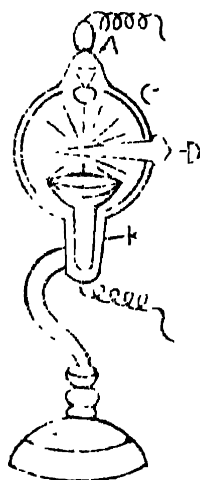
না বলিয়া ইহাতে প্রতিপ্রভা সৃষ্ট হয় না। ক্রুশকে নীচে নামাইয়া দিলে সেখানে আর ছায়া পড়ে না, সেখানে ক্যাথোড রশ্মি পড়াতে উহা অপেক্ষাকৃত বেশী প্রতিপ্রভ হয় কারণ চারিপাশের কাচের অণুগুলি পূর্ব হইতে ক্যাথোড রশ্মির আঘাতে অবসাদগ্রস্থ থাকে। এই কণাগুলির বেগ প্রতি সেকেণ্ডে ১০⁹ হইতে ১০¹⁰ সেঃ মিটার।

(গ) ক্যাথোড-তল হইতে রশ্মিগুলি অভিলম্বভাবে বাহির হয়ঃ

পরীক্ষাঃ উপরোক্ত পরীক্ষায় দেখা যায় ছায়ার সীমা খুব নির্দিষ্ট অর্থাৎ এই ছায়ার চারিধারে কোন উপছায়া দেখা যায় না। সাধারণ আলোর মত ক্যাথোড রশ্মি চারিদিকে ছড়াইয়া পড়ে না। যদি ক্যাথোড-তল অবতল হয় তবে ক্যাথোড রশ্মি এক বিন্দুতে (ফোকাস্) কেন্দ্রীভূত হয়।

(ঘ) ক্যাথোড রশ্মি গতীয় শক্তির (Kinetic energy) **জন্য পদার্থে পড়িয়া তাপ উৎপন্ন করেঃ**

পরীক্ষাঃ C একটি ফাঁপা কাচের মোক্ষণ-গোলক। উহার মধ্যে বায়ুর চাপ ১০০ মিঃ মিঃ। K ক্যাথোডটি অবতল আকারের। ইহার ফোকাসে একটি পাতলা প্লাটিনমে তার D থাকে। A অ্যানোড। তড়িৎ মোক্ষণ হইলে দেখা যায় যে অবতল ক্যাথোডের জন্য ক্যাথোড রশ্মি কেন্দ্রীভূত হইয়া ফোকাসে অবস্থিত প্লাটিনাম তারে পড়ে। উহা এত উত্তপ্ত হয় যে উহা লাল হয়।

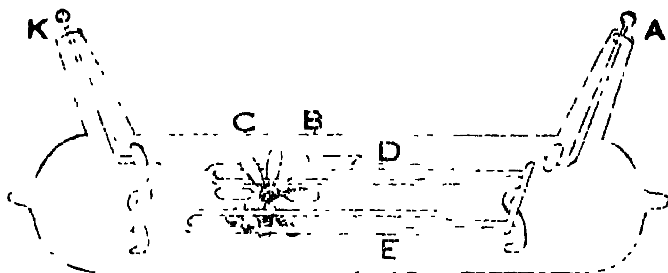


১৩৮ নং চিত্র

(ঙ) ক্যাথোড রশ্মি গতীয় শক্তির জন্য যান্ত্রিক চাপ উৎপন্ন করেঃ

পরীক্ষাঃ C মোক্ষণ-নল, B একটি হাল্কা পদার্থের (যথা অভ্র) পাখা (van) যুক্ত চক্র। এই চক্রের একটি এ্যালুমিনিয়ামের অক্ষ দুইটি সমান্তরাল অনুভূমিক কাচ দণ্ড E ও Dর উপর অনুভূমিক ভাবে এদিক-ওদিক ঘুরিতে

পারে। A Al.-অ্যানোড ও K Al.-ক্যাথোড এমন ভাবে অবস্থিত যে ক্যাথোড রশ্মি যে কোনও সময়ে চক্রের পাখাটির অর্ধাংশে পতিত হয়। মোক্ষণের সময়



১৩৯ নং চিত্র

পাখার উপর গতিশীল ক্যাথোড রশ্মির ধাক্কায় ক্যাথোড হইতে দূরে চক্রটি সরিয়া যাইবে। Aকে অ্যানোড করিলে চক্রটি বিপরীত দিকে ঘুরিবে।

(চ) ক্যাথোড রশ্মি অনুপ্রভা (phosphorescence) **উৎপন্ন করে:** ক্যাথোড রশ্মি Zinc sulphide বা Barium platino-cyanide এর উপর পতিত হইলে অণুপ্রভা উৎপন্ন করে।

(ছ) ক্যাথোড রশ্মি পদার্থের পাতলা স্তরের মধ্য দিয়া বাহিরে আসে কিন্তু উহাতে ছিদ্র হয় না।

পরীক্ষা: লেনার্ড (Lenard) মোক্ষণ-নলের গায়ে ক্যাথোডের বিপরীত দিকে একটি ছিদ্র করিয়া পাতলা এ্যালুমিনিয়াম পাত দিয়া ছিদ্র বন্ধ করেন। তৎপরে নলে তড়িত মোক্ষণ করিয়া দেখেন যে এ্যালুমিনিয়ামের ঠিক বাহিরের বায়ু লাল্‌চে বেগুনী আলোয় উজ্জ্বল হয়। নলের পাতের বাহিরের এই রশ্মিগুলিকে **লেনার্ড রশ্মি** বলে। আমরা জানি প্রত্যেক পদার্থের মধ্যে আন্তরাণবিক ও আন্তর্পারমাণবিক (Intra molecular ও intraatomic) ফাঁক থাকে। কতকগুলি ক্যাথোড রশ্মি এই ফাঁকের মধ্য দিয়া চলিয়া যায়, কতকগুলি পদার্থ দ্বারা শোষিত হয়। যে রশ্মিগুলি চলিয়া যায় তাহারাই লেনার্ড রশ্মি গঠন করে। এখানে দেখা যায় যে ইলেক্‌ট্রোনগুলির ব্যাস ফাঁকের ব্যাসের চেয়ে

অনেক ছোট, প্রায় ৫০,০০০ ভাগ। সুতরাং ইলেক্‌ট্রোনগুলি অনায়াসে পাতের স্তরের মধ্য দিয়া যাইতে পারে।

(জ) ক্যাথোড রশ্মি চৌম্বক ক্ষেত্র দ্বারা প্রভাবিত হয়।

পরীক্ষা: K ক্যাথোডের সম্মুখে একটি ছিদ্র যুক্ত অভ্রের পর্দা S আছে। পর্দার বিপরীত দিকে একটি এ্যালুমিনিয়ামের পাত B আছে। Bতে Willemite লাগান থাকে, ক্যাথোড রশ্মি ক্যাথোড হইতে বাহির হইয়া ছিদ্রের মধ্য দিয়া Willemite এর উপর আপতিত হইয়া একটি সাদা আলোর সৃষ্টি করে। এখন একটি দণ্ড-চুম্বকের উত্তর (N) মেরুকে রশ্মির কাছে লইয়া যাইলে উহা নীচুদিকে বাঁকিয়া যাইবে। বাঁকিবার দিক ফ্লেমিংসের দক্ষিণ হস্ত নিয়মানুসারে পাওয়া যায়। এখানে ক্যাথোড রশ্মিকে একটি সমান্তরাল প্রবাহ ধরা হয় যাহা এ্যানোড হইতে ক্যাথোডের দিকে যাইতেছে। ইহাতে অনুমান হয় যে ক্যাথোড রশ্মি ঋণাত্মক প্রবাহ।

(ঝ) ক্যাথোড রশ্মি তড়িৎ ক্ষেত্র দ্বারা প্রভাবিত হয়।

পরীক্ষা: ক্যাথোড রশ্মিকে যদি একটি + আধানে আহিত ও একটি —আধানে আহিত পাতের মধ্য দিয়া লওয়া হয় তবে রশ্মি + আহিত পাতের দিকে বাঁকিয়া যায়। এই পরীক্ষা প্রমাণ করে যে ক্যাথোড রশ্মি —আহিত কণার সমষ্টি। একটি জানা মাত্রার চৌম্বক বা তড়িৎ ক্ষেত্রে রশ্মির বিচ্যুতি মাপিয়া কণার আধান e ও ভর m এর অনুপাত মাপা যায়। পরীক্ষা দ্বারা দেখা গিয়াছে যে $\frac{e}{m}$ যে কোন গ্যাস, তরল বা কঠিনের মাধ্যমে প্রায় এক থাকে সুতরাং অনুমান হয় যে ইলেক্‌ট্রান প্রত্যেক পদার্থের মূল কণা।

(ঞ) ক্যাথোড রশ্মি গ্যাসকে আয়নিত করে: ক্যাথোড রশ্মি গ্যাসের তড়িৎ নিরপেক্ষ অণুগুলিকে ভাঙ্গিয়া + আধানযুক্ত নিউক্লিয়াসে ও —আধান যুক্ত ইলেক্‌ট্রোনে পরিণত করে। ইহাদিগকে আয়ন বলে। আয়নগুলি বিপরীত দিকে সরিয়া যাইয়া তড়িৎ পরিবহন করে।

১২৭। **ধনাত্মক রশ্মি** (Positive Rays): জে, জে, টমসন একটি মোক্ষণ-নলের ক্যাথোডে একটি সরু ছিদ্র করিয়া তড়িৎ মোক্ষণ করিয়া দেখেন যে ক্যাথোডের ছিদ্র দিয়া ক্যাথোডের পশ্চাৎ দিকে সময় সময় এক প্রকার রশ্মি দেখা যায়। এইগুলি অ্যানোড হইতে ক্যাথোডের দিকে যায় অর্থাৎ উচ্চ বিভব হইতে নিম্ন বিভবে যায় সুতরাং এই রশ্মিগুলির কণা + আধানে আহিত হয়। সেইজন্য এই রশ্মিকে **ধনাত্মক রশ্মি** বলে। এই ধনাত্মক রশ্মি পরীক্ষার জন্য গ্যাসের চাপ ১০$^{-৬}$ মিঃ মিটার হওয়া দরকার। টমসন বিভিন্ন গ্যাসের ধনাত্মক রশ্মির কণার আধান e ও ভর m মাপিয়া দেখেন যে $\frac{e}{m}$ বিভিন্ন গ্যাসে বিভিন্ন রকম হয়। একই গ্যাসে $\frac{e}{m}$ ধ্রুবক থাকে। সুতরাং সিদ্ধান্ত করা হয় যে গ্যাসের অণু হইতে এক বা ততোধিক ইলেকট্রোন বিচ্ছিন্ন হইয়া বাকী অংশ ধনাত্মক রশ্মির কণা গঠন করে। টমসন এই ধনাত্মক রশ্মির কণার ভর ও হাইড্রোজেন অণুর ভরের তুলনা করেন। এই উপায়ে নির্ভুলভাবে পরমাণুর ওজন বাহির করা যায়।

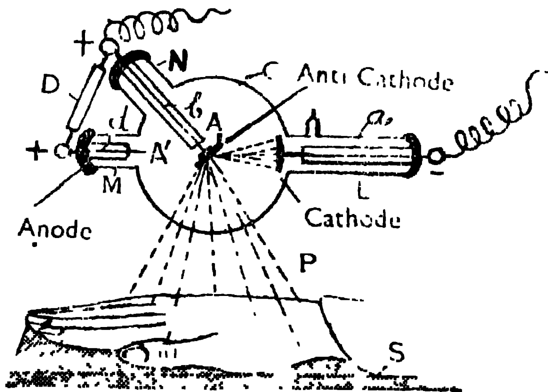
টমসন প্রথম দেখান যে কতকগুলি পদার্থের অণুতে দুই বা ততোধিক ভরের পরমাণু থাকে। যেমন, হাইড্রোজেনের অণুতে তিন রকম ভরের পরমাণু থাকে। ভর—১, ভর—২, ভর—৩। ইহাদিগকে Isotopes বলে।

১২৮। **রঞ্জন রশ্মি** (Rontgen বা X-rays): ১৮৯৬ খৃষ্টাব্দে ব্যাভেরিয়ার অধ্যাপক রঞ্জন ক্যাথোড রশ্মির সম্বন্ধে গবেষণা করিবার সময় অপ্রত্যাশিতভাবে আবিষ্কার করেন যে তড়িৎ-মোক্ষণের সময় নিকটস্থ একটি Barium platinocyanide প্রলেপযুক্ত পর্দা দীপ্তিময় হইয়া উঠে। তিনি দেখেন যে নলকে কিংবা পর্দাকে কাল মোটা কাগজে ঢাকিয়া রাখিয়া তড়িৎ-মোক্ষণ করিলেও পর্দা দীপ্তিময় হয়। কাল কাপড়ে ঢাকা ফটোগ্রাফিক পাতও এই রশ্মি দ্বারা প্রভাবিত হয়। সুতরাং তিনি সিদ্ধান্ত করেন যে নল হইতে একটি অদৃশ্য রশ্মি বাহির হয়। তখন ইহার কারণ বুঝিতে না পারায় তিনি ইহাকে **অজ্ঞাত রশ্মি** (X-ray) নাম দেন; তাঁহার নামানুসারে ইহাকে

রঞ্জন রশ্মিও বলে। রঞ্জন মোক্ষণ-নল ও প্রতিপ্রভ পর্দার মধ্যে কতকগুলি পদার্থ রাখিয়া ছায়া উৎপাদন করেন। তিনি সিদ্ধান্ত করেন যে মোক্ষণ-নলের যে স্থানে ক্যাথোড রশ্মি আঘাত করে সেই স্থান হইতে এই রঞ্জন রশ্মি উদ্ভূত হয়।

১২৯। **রঞ্জন রশ্মি উৎপাদন:** রঞ্জন রশ্মি উৎপাদন করিতে X-ray বাল্‌ব, বেশী বিভব-ভেদ সৃষ্টিকারী আবেশ-কুণ্ডলী দরকার। আজকাল দুই রকম X-ray বাল্‌ব ব্যবহৃত হয়। যথা,—

(ক) **গ্যাস নল** (Gas tube): একটি গোলাকার বদ্ধ বড় কাচ বাল্‌ব Cতে তিনটি পার্শ্বনল L, M ও N ঝালাই করা থাকে। প্রত্যেক নলে একটি করিয়া ধাতব তড়িৎ-দ্বার a, b, d থাকে। L নলে a এ্যালুমিনিয়ামের দণ্ডের মুখে একটি এ্যালুমিনিয়ামের অবতল পাত K লাগান থাকে। ইহা ক্যাথোড



১৪০ নং চিত্র

N নলের মধ্যস্থ b দণ্ডের মুখে একটি টাংষ্টেন যুক্ত সমতল পাত A রাখা হয়। ইহাকে Anticathode বা Target বলে। A পাতের তল K ক্যাথোডের কেন্দ্রের অক্ষের সহিত ৪৫° কোণে অবস্থিত হয়। ক্যাথোডের সামনে M নলের মধ্যস্থ A' নল অ্যানোডের কাজ করে। D নল দ্বারা

A' ও A যুক্ত থাকে। K ক্যাথোড আবেশ-কুণ্ডলীর গৌণ কুণ্ডলীর — প্রান্ত-বন্ধনীর (নিম্ন বিভবের) সহিত এবং A অ্যানোড +প্রান্ত-বন্ধনীর (উচ্চ বিভবের) সহিত যুক্ত থাকে। Anticathodeএর সঠিক কার্য এখনও জানা যায় নাই তবে মনে হয় ইহা নলকে টিকসই করে এবং ইহার সাহায্যে নলের তড়িৎ-মোক্ষণ ভালভাবে চলে।

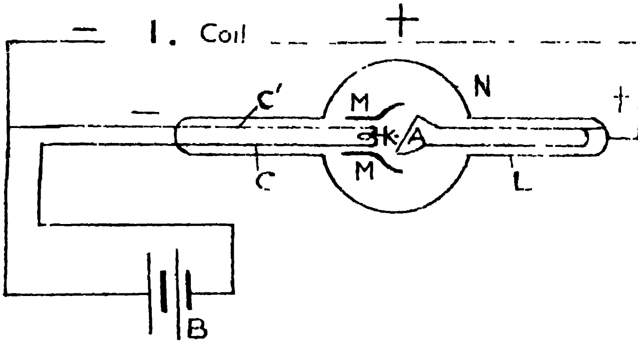
ক্রিয়া: বাল্‌বে বায়ুর চাপ $১০^{-৫}$ বা '০০১ মিঃ মিটারের কাছাকাছি আনিয়া আবেশ-কুণ্ডলীতে $১০^{৫}$ ভোল্ট চালু করা হয়। ক্যাথোড রশ্মি অবতল ক্যাথোড হইতে অভিলম্বভাবে বহির্গত হইয়া পাতের উপর কেন্দ্রীভূত (focussed) হয়। ক্যাথোড রশ্মি বা ইলেকট্রোন ক্যাথোড হইতে প্রচণ্ড গতিতে ধাবিত হইয়া A পাতে ধাক্কা খাইয়া হঠাৎ থামিয়া যায় এবং ক্যাথোড রশ্মি X-রশ্মিতে পরিণত হয়। এই X-রশ্মিগুচ্ছ একটি শঙ্কুর আকারে A পাত হইতে বাহির হয়। শঙ্কুর শীর্ষ (apex) A পাতের উপর থাকে।

ক্যাথোড রশ্মির ইলেকট্রোনগুলির প্রভূত গতীয় শক্তি থাকে। এই গতীয় শক্তি A পাতে ধাক্কা খাইলে গতীয় শক্তির অধিকাংশ তাপ শক্তিতে এবং খানিকটা (মাত্র ২—৩%) X-রশ্মির শক্তিতে পরিণত হয়। সেইজন্য A পাত খুব উষ্ণ হয়। অনেক সময় প্রতি সেকেণ্ড ১০০ ক্যাঃ তাপ উৎপন্ন হয়। সেইজন্য A পাত খুব উচ্চ গলনাঙ্ক বিশিষ্ট গুরু ধাতু (টাংষ্টেন, প্লাটিনাম প্রভৃতি) দিয়া তৈরী হয়। গুরু ধাতু হইতে উদ্ভূত X-রশ্মির তীব্রতা বেশী হয়। তাপকে তাড়াতাড়ি পরিবাহিত করিবার জন্য A পাতের সঙ্গে সংযুক্ত b দণ্ড মোটা ও লম্বা হয়। আধুনিক যন্ত্রে A পাতের চারিধারে শীতল জল প্রবাহিত করাইয়া A পাতকে শীতল রাখা হয়।

(খ) ইলেকট্রোন নল (Electron tube): **নীতি:** গ্যাস নলে $১০^{-৪}$ মিঃ মিটার চাপে তড়িৎ মোক্ষণ করিলে ক্যাথোড রশ্মি বা ইলেকট্রোন উৎপন্ন হয় কিন্তু ইলেকট্রোন নলে সাধারণ চাপে টাংষ্টেনকে তড়িৎ প্রবাহের দ্বারা উত্তপ্ত করিলে ইলেকট্রোন উৎপন্ন হয়।

যন্ত্র: দুইটি তার C ও C'এর মুখে টাংষ্টেনের কুণ্ডলী K (spiral

filament) থাকে। ইহা ক্যাথোড। C ও C' তারের দুই প্রান্ত N গোলকের গাত্রের ভিতর দিয়া গলাইয়া একটি ব্যাটারি Bর সঙ্গে যুক্ত থাকে। ব্যাটারি হইতে টাংষ্টেন কুণ্ডলীর মধ্য দিয়া তড়িৎ প্রবাহিত করাইয়া কুণ্ডলীকে উত্তপ্ত করা হয়। তখন টাংষ্টেন হইতে অবিশ্রান্ত ইলেক্‌ট্রোন



১৪১ নং চিত্র

কণা উদ্ভূত হয়। টাংষ্টেন কুণ্ডলীর চারিপাশে (molybdenum)এর অর্ধ-গোলাকার বেষ্টনী MM রাখা হয় যাহাতে কুণ্ডলী হইতে উদ্ভূত ইলেক্‌ট্রোনগুলি কেন্দ্রীভূত হইয়া A এ্যান্টিক্যাথোডের উপর পড়ে। এ্যান্টিক্যাথোড A একটু বড় টাংষ্টেন খণ্ড। ইহা মোটা তামার দণ্ড Lএর সহিত যুক্ত। এন্টিক্যাথোড টাংষ্টেন কুণ্ডলীর সহিত ৪৫° ডিগ্রিতে আনত থাকে।

ক্রিয়া: N গোলকে যে বায়ুর চাপ ($১০^{-৬}$ মিঃ মিঃ) থাকে তাহাতে গ্যাসের সাধারণ অবস্থায় খুব বেশী বিভব-ভেদ সৃষ্টি করিলেও তড়িৎ মোক্ষণ হয় না কিন্তু টাংষ্টেনকে তড়িৎপ্রবাহ দ্বারা উত্তপ্ত করিলে প্রভূত ইলেক্‌ট্রোন উদ্ভূত হয়। তখন আবেশ-কুণ্ডলী কয়েক হাজার ভোল্টে চালাইলে তড়িৎ মোক্ষণ হয় এবং ইলেক্‌ট্রোনগুলি প্রচণ্ড গতীয় শক্তি সম্পন্ন হইয়া Aতে আঘাত করে এবং X-রশ্মি উৎপন্ন হয়। মোটা C দণ্ড তাপ পরিবহন করে। X-রশ্মি নলের কাছে একটি Barium platinocyanideএর পর্দা রাখিলে উহাতে

হলদে সবুজ রংয়ের প্রতিপ্রভা সৃষ্টি হয়। ইহাতে সহজে X-রশ্মির অস্তিত্ব বোঝা যায়।

ইলেকট্রোন নলের সুবিধা: (ক) তড়িৎদ্বারের মধ্যে বিভব-ভেদ কম-বেশী করিয়া X-রশ্মির **তীক্ষ্ণতা** (hardness) কমান বা বাড়ান যায়। বিভব-ভেদ বাড়িলে তীক্ষ্ণতা বাড়ে।

(খ) টাংষ্টেন কুণ্ডলীর ভিতর দিয়া তড়িৎ প্রবাহের মাত্রা কমাইয়া বা বাড়াইয়া কুণ্ডলীর উষ্ণতা এবং উদ্ভূত ইলেকট্রোনের সংখ্যা বাড়ান বা কমান যায় এবং নলের মধ্য দিয়া তড়িতের মাত্রা বা X-রশ্মির মাত্রা বাড়ান বা কমান যায়।

(গ) Aকে শীতল করার দরকার হয় না।

(ঘ) ইহার গঠনও সোজা।

১২৮। **X-রশ্মির প্রকৃতি:** X-রশ্মির গুণ পরীক্ষা করিয়া দেখা গিয়াছে যে সাধারণ আলোর মত X-রশ্মি ঈথারে এক প্রকারের তড়িচ্চুম্বকীয় তরঙ্গ (electro magnetic waves)। যখন প্রচণ্ড গতিশীল ইলেকট্রোন কোন কঠিন পদার্থে বাধাপ্রাপ্ত হয় তখন সেই স্থান হইতে ইথারে আলোর মত তরঙ্গ উত্থিত হয়। সাধারণ আলোক তরঙ্গের দৈর্ঘ্য অপেক্ষা X-রশ্মির তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য প্রায় ১০০০ গুণ ছোট হইবে। দৃশ্য আলোর তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য ৭৮০০ A. U থাকে কিন্তু X-রশ্মির তরঙ্গ দৈর্ঘ্য ৩ হইতে ১ A. u হয়। সুতরাং X-রশ্মির কম্পনাঙ্ক দৃশ্য আলোর কম্পনাঙ্ক অপেক্ষা কয়েক সহস্র গুণ বেশী এবং ইহাদের গতীয় শক্তিও বেশী, ভেদ ক্ষমতাও (power of penetration) বেশী। যে সকল X-রশ্মির ভেদ-ক্ষমতা বেশী তাহাদিগকে **শক্ত** (Hard) X-রশ্মি এবং যে সকল X-রশ্মি ভেদ ক্ষমতা কম তাহাদিগকে **কোমল** (Soft) X-রশ্মি বলে। কম বিভব-ভেদে কোমল X-রশ্মি ও উচ্চ বিভব-ভেদে শক্ত X-রশ্মি উদ্ভূত হয়। মনে রাখিবে ক্যাথোড রশ্মি তরঙ্গ নয়, উহা —আধানে আহিত কণার সমষ্টি।

১২৯। **X-রশ্মির ধর্ম:** (ক) X-রশ্মি ইথারে খুব ক্ষুদ্র তড়িচ্চুম্বকীয়

তরঙ্গ। (খ) X-রশ্মি সরল পথে গমন করে। X-রশ্মির পথে একটি সীসা, বেরিয়াম প্রভৃতি ধাতুর যৌগিক পদার্থ রাখিলে ঐ সকল পদার্থের ছায়া পর্দায় উৎপন্ন হয়। (গ) সাধারণ আলোয় যে সকল কঠিন পদার্থ অস্বচ্ছ হয় তাহাদিগের অধিকাংশর মধ্য দিয়া X-রশ্মি যাইতে পারে, যথা, অ্যালুমিনিয়াম, কাগজ, মাংস, কাঠ, চামড়ার মধ্য দিয়া X-রশ্মি চলিয়া যায়। যাহাদের পরমাণবিক ওজন বা ক্রমাঙ্ক বেশী বা ঘনাঙ্ক বেশী তাহাদের মধ্য দিয়া X-রশ্মি যায় না যেমন লোহা, সীসা, হাড়। এই সকল পদার্থ X-রশ্মিকে শোষণ করিয়া লয়। সেইজন্য মাংসর মধ্য দিয়া হাড়ের ছবি লওয়া যায়। (ঘ) সূর্য্যালোকের মত ফটোগ্রাফের পাতেব (plate) উপর X-রশ্মির প্রতিক্রিয়া হইয়া কালো হইয়া যায়। কালো কাগজে আবৃত ফটোগ্রাফিক পাত সাধারণ আলোয় অপরিবর্তিত থাকে কিন্তু X-রশ্মিতে ইহা পরিবর্তিত হয়। ফটোগ্রাফিক পাতে রূপার লবণ থাকে। (ঙ) X-রশ্মি Barium platinocyanide ও অন্যান্য কয়েকটি পদার্থে প্রতিপ্রভা উৎপন্ন করে। (চ) X-রশ্মি কোন গ্যাসের মধ্য দিয়া যাইলে উহা গ্যাসের অণুকে + ও − আধানে আহিত কণায় বিভক্ত করে। ইহাদিগকে **আয়ন** বলে। আয়নগুলি তড়িৎ পরিবহন করে। এইরূপ আয়নিত গ্যাসের মধ্যে দুইটি + ও − তড়িতাহিত পাত রাখিলে + আয়ন − পাতের দিকে যাইবে এবং − আয়ন + পাতের দিকে যাইবে। ইহাতে তড়িৎ প্রবাহের উৎপত্তি হয়। ইহাকে আয়ন-প্রবাহ (ionisation current) বলে। (ছ) X-রশ্মির গতি তড়িৎ বা চুম্বকীয় ক্ষেত্রে বাঁকিয়া যায় না; দুইটি চুম্বক মেরুর মধ্য কিংবা দুইটি আহিত পাতের মধ্যবর্তি স্থানে X-রশ্মি অতিক্রম করাইলে পর্দার প্রতিপ্রভ স্থান পরিবর্তিত হয় না। ইহা হইতে প্রমাণ হয় যে X-রশ্মি তড়িতাহিত কণা নয়। (জ) কেবল উপযুক্ত অবস্থায় X-রশ্মির প্রতিফলন ও প্রতিসরণ হয়। সাধারণ আলোর মত ইহাদের প্রতিসরণ বা প্রতিফলন হয় না। X-রশ্মি খুব চকচকে কাঁচের পাতে প্রায় ৯০° কাছাকাছি আপতিত হইতে প্রতিফলিত হয়। স্থূল কোণা (obtuse angle) বিশিষ্ট প্রিজমের মত দিয়া X-রশ্মি প্রতিসরণ হয়। (ঝ) X-রশ্মির ব্যতিচার ও সমাবর্তন হয়।

১৩০ **X-রশ্মির প্রয়োগ :** X-রশ্মি নানা বৈজ্ঞানিক কাজে ব্যবহৃত হয়।

(ক) **অস্ত্র চিকিৎসা :** ভাঙ্গা হাড়ের অবস্থান কিংবা দেহের মধ্যে কোন বস্তুর অবস্থান নির্ণয় করিতে X-রশ্মির ভেদ-ক্ষমতার সাহায্য লওয়া হয়। দেহের মধ্যস্থ মাংস, চর্বি, রক্ত, বায়ু, তরল পদার্থের ঘনাঙ্ক অনুযায়ী ও গঠন অনুযায়ী X-রশ্মি শোষিত হয় কিংবা ইহাদের মধ্য দিয়া অতিক্রম করে। ব্যধিগ্রস্থ স্থান বা ভাঙ্গা স্থান একটি ফটোগ্রাফিক পাত ও X-রশ্মি উৎপাদক নলের মধ্যে রাখা



১৪২ নং চিত্র

হয়। X-নলকে চালু করিলে X-রশ্মি মাংসল স্থান ভেদ করিয়া ফটোগ্রাফিক পাতকে বিশ্লিষ্ট করিয়া কালো করিবে কিন্তু হাড় বা কোন কঠিন পদার্থের মধ্য দিয়া যাইলে ইহারা X-রশ্মির অধিকাংশ শোষণ করিয়া লইবে সামান্য অংশ

ইহাদের মধ্য দিয়া ফটোগ্রাফিক পাতের উপর পড়িবে। ইহাতে এই অংশ কম আলো পাইবে। ইহাকে develope করিলে Negative পাওয়া যায়। তারপর ফটোগ্রাফিক পাতে পুনরায় Positive পাওয়া যায়। ইহাকে Radiograph বলে। যক্ষ্মারোগে ফুসফুসের ছবি লওয়া হয়। ফটোগ্রাফিক পাতের বদলে Barium platinocyanide প্রলেপযুক্ত কাগজের পর্দা রাখিলে মাংসের মধ্য দিয়া X-রশ্মি পড়াতে সেই অংশ প্রতিপ্রভ হয়, হাড়ের অংশ হয় না। পর্দার প্রলেপের সামনে দাঁড়াইলে চিকিৎসক পর্দায় হাড়ের ছায়া দেখিতে পান। ইহাকে Screening বলে। পেটের মধ্যে ঘা হইলে রোগীকে Barium খাদ্য খাওয়ান হয়। ইহাতে পাকস্থলী X-রশ্মির কাছে অস্বচ্ছ হয়। পরে পাকস্থলীর ছবি লওয়া হয়।

(খ) **রোগ নিরাময়ঃ** X-রশ্মির সাহায্যে কর্কট (cancer), টিউমার প্রভৃতি রোগ নিরাময় হয়।

(গ) মোটা ধাতব চাদরে (sheet) কোন ফাটল বা গর্ত বা ফোরা (air pocket) থাকিলে X-রশ্মি সাহায্যে নির্ণয় করা যায়। এইরূপে ট্যাঙ্ক, কামান প্রভৃতির চাদরের ভিতর ছিদ্রের বা ফাটলের অস্তিত্ব বোঝা যায়। ফাটল, গর্ত বা ফোরার মধ্য দিয়া X-রশ্মি সহজে ভেদ করিয়া ফটোগ্রাফিক পাতে কাল দাগ উৎপন্ন করে। এইরূপে কাঠের মধ্যে ছিদ্রের ও শামুকের মুক্তার কৃত্রিম হীরার অস্তিত্ব X-রশ্মি দ্বারা ধরা যায়।

(ঘ) পার্শেল না খুলিয়া কাঠের দ্রব্যের মধ্যে বা চামড়ার মধ্যে লুক্কায়িত বিস্ফোরক দ্রব্যের চোরের পেটের মধ্যে গহনার ও মুদ্রার অস্তিত্ব X-রশ্মির দ্বারা ধরা যায়।

(ঙ) X-রশ্মির সাহায্যে কেলাসের (crystal) নির্মাণ কৌশল, আণবিক গঠন জানা যায়।

১৩১। **তেজস্ক্রিয়া** (Radioctivity)ঃ ১৮৯৬ খৃষ্টাব্দে প্যারিসের অধ্যাপক বেকরেল (Becquerel) স্বাভাবিক পদার্থ যথা আকরিক হইতে X রশ্মির মত মত রশ্মি উৎপাদনের চেষ্টায় দেখেন যে ইউরেনিয়ামের (Uranium) বহু

যৌগিক পদার্থকে কাল পুরা অস্বচ্ছ কাগজে ঢাকিয়া রাখিলেও অন্ধকারে নিকটস্থ ফটোগ্রাফিক পাতে মধ্যবর্তি কোন মুদ্রা বা পুরু পদার্থের ছায়া পড়ে। এই পরীক্ষা হইতে তিনি সিদ্ধান্ত করেন যে ইউরেনিয়াম স্বতঃই সব সময়েই এক প্রকার রশ্মি উৎপাদন করে। এই রশ্মি X রশ্মির মত ফটোগ্রাফিক পাতকে কালো করে, গ্যাসকে আয়নিত করে, Barium platino cyanide পাতে প্রতিপ্রভা সৃষ্টি করে, পদার্থের পাতলা স্তর ভেদ করে এবং প্রাণীর কোষে জৈব পরিবর্তন ঘটায়।

এইরূপ যে সকল পদার্থ স্বতঃই রশ্মি বিকীর্ণ করে তাহাদিগকে **তেজস্ক্রিয়** (Radioactive) পদার্থ বলে। এই রশ্মিকে বেকরেল রশ্মি (Becquerel Ray) বলে।

এই আবিষ্কারের কয়েক মাস বাদে প্যারিসের অধ্যাপক পিয়ারী ও মাদাম কুরী (Pierre and Madame Curie) দেখেন যে থোরিয়াম (Thorium) নামক পদার্থ ও তাহার যৌগিক পদার্থ হইতে বেকরেল রশ্মি বাহির হয়। তাঁহারা পরীক্ষা করিতে করিতে দেখিতে পান যে পিচ্ব্লেণ্ডি (pitch blende) নামক আকরিক হইতে ইউরেনিয়াম নিষ্কাষিত করিলে অবশিষ্ট আকরিকের তেজস্ক্রিয়া ইউরেনিয়ামের তেজস্ক্রয়ার চতুর্গুণ বর্ধিত হয়। এই পরীক্ষা হইতে অনুমান করা হয় যে পিচ্ব্লেণ্ডির মধ্যে এমন এক পদার্থ থাকে যাহা ইউরেনিযাম অপেক্ষা বেশী তেজস্ক্রিয়। তাঁহারা কয়েক টন পিচব্লেণ্ডি হইতে দীর্ঘকাল যাবৎ বহু রাসায়নিক প্রক্রিয়ার সাহায্যে মাত্র দু'এক গ্রেণ নূতন এক মৌলিক পদার্থ নিষ্কাষণ করেন। তিনি এই নূতন পদার্থের নাম দেন রেডিয়াম (Radium) রেডিয়াম পিচব্লেণ্ডি অপেক্ষা দশ লক্ষ গুণ বেশী তেজস্ক্রিয়। রেডিয়াম হইতে এক প্রকার তেজস্ক্রিয় গ্যাস Rodon বাহির হয়।

১৩২। বেকরেল রশ্মিঃ রাদারফোর্ড ১৮৯৯ খৃষ্টাব্দে বেকরেল রশ্মি বিশ্লেষণ করিয়া দেখান যে বেকরেল রশ্মি তিন প্রকার রশ্মির সমবায়ে গঠিত, যথা :—

(a) **অল্ফা রশ্মি** (α-রশ্মি) : এই রশ্মির পথ তড়িৎ ক্ষেত্র বা

চৌম্বক ক্ষেত্র দ্বারা বিচ্যুত (deflected) হয় এবং বিচ্যুতির অভিমুখ দেখিয়া সিদ্ধান্ত করা হয় যে ∝ রশ্মি +আধানে আহিত কণার সমষ্টি এবং বিচ্যুতির মাত্রা দেখিয়া প্রত্যেক কণার ভর হাইড্রোজেনের পরমাণুর ভরের চারগুণ গণনা করা হয়। এই কণাগুলি দুইটি ইলেকট্রোনহীন হিলিয়াম পরমাণু। ইহাতে প্রায় $+৩\cdot২\times১০^{-২০}$ E. M. U আধানে থাকে। প্রত্যেক কণা সেকেণ্ডে প্রায় $১০^{৮}-১০^{৯}$ সেঃ মিঃ বেগে রেডিয়াম হইতে নিঃসৃত হয়। (X রশ্মির বেগ প্রতি সেকেণ্ডে ২০,০০০ মাইল। ∝ রশ্মি Zinc-sulphideএ পতিত হইলে খুব উজ্জ্বল হয়। এই কণাগুলি যে কোন পদার্থের কেবল পাতলা স্তর ভেদ করিযা যায়। বায়ুর পাতলা স্তর দ্বারা এই কণা শোষিত হয়। এই কণাগুলি গ্যাসের ভিতর দিয়া যাইলে গ্যাস আয়নিত হয়।

(খ) **বিটা রশ্মি** (β-rays)ঃ এই রশ্মির পথ তড়িৎ বা চৌম্বক ক্ষেত্র দ্বারা ∝-রশ্মির বিপরীত অভিমুখে বিচ্যুত হয় সুতরাং ইহারা —আধানে আহিত কণা অর্থাৎ ক্যাথোড রশ্মির মত ইলেকট্রোনের সমষ্টি। ইহারা প্রায় আলোকের গতিতে নিঃসৃত হয। ইহাদের ভর ∝-কণার ভরের ৭৪০০ ভাগ সুতরাং ইহাদের ভেদ-ক্ষমতা বেশী এবং গ্যাসকে আয়নিত করিবার ক্ষমতা কম।

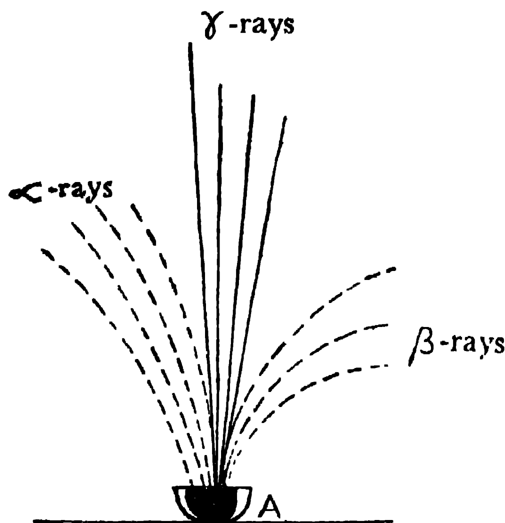
∝ কণা প্রায় $\frac{১}{০০০}$ সেঃ মিঃ পুরু এ্যালুমিনিয়াম পাত এবং β কণা প্রায় ৫ মিঃ মিঃ পুরু এ্যাঃ পাত ভেদ করিতে পারে।

(গ) **গামা রশ্মি** (γ-rays)ঃ এই রশ্মি X-রশ্মির মত ইথারে তরঙ্গ, কারণ ইহারা তড়িৎ বা চৌম্বক ক্ষেত্র দ্বারা বিচ্যুত হয় না। ইহারা তড়িতাহিত নয়। ইহাদের তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য X-রশ্মির তরঙ্গ-দৈর্ঘ্যের চেয়ে ১০০০ ভাগ কম। সুতরাং ইহাদের ভেদ-ক্ষমতা বেশী, গ্যাসকে আয়নিত করার ক্ষমতা কম।

	∝	β	γ
আপেক্ষিক আয়নিত ক্ষমতা—	১০০০০	১০০	১
,, ভেদ-ক্ষমতা	১	১০০	১০০০০

মাদাম কুরি একটি সীসার মোটা খণ্ড Aর মধ্যে গর্ত করিয়া একটু রেডিয়াম

লবণ রাখেন। একটি সংকীর্ণ রশ্মিগুচ্ছ উপরদিকে উত্থিত হয়। তিনি কাগজের উপর অভিলম্ব ভাবে একটি শক্তিশালী চুম্বক রাখিয়া দেখেন যে



১৪৭ নং চিত্র

α-রশ্মি বামদিকে একটুখানি, β-রশ্মি ডানদিকে অনেকখানি বিচ্যুত হয় γ-রশ্মি অবিচ্যুত থাকে।

১৩৩। মহাজাগতিক রশ্মি (Cosmic Rays) : পরীক্ষায় দেখা যায় যে একটি আহিত তড়িৎবীক্ষণ (Electrocope) যতই ভাল করিয়া অন্তরিত রাখা হউক ইহাকে বায়ুতে বা বায়ুশূন্য স্থানে রাখিলে কিছুক্ষণে আধানশূন্য হয়। উইলসন দেখান যে বায়ুর মধ্য দিয়া আধান চলিয়া যায় অর্থাৎ বায়ুতে + আয়ন ও —আয়ন থাকে। উহারা তড়িৎবীক্ষণের +আয়ন ও— আয়নকে মোক্ষিত করে সেইজন্য বীক্ষণ আধান শূন্য হয়। এখন প্রশ্ন বায়ু কি করিয়া আপনাআপনি আয়নিত হয় ? প্রথমে অনেকের ধারণা হয় পৃথিবীর তেজস্ক্রিয় পদার্থের রশ্মির ক্রিয়ায় বায়ু আয়নিত হয় কিন্তু আহিত বীক্ষণকে সীসা

দিয়া ঢা রাখিয়া তেজস্ক্রিয় পদার্থের রশ্মির পথ বন্ধ করিলে বীক্ষণ কিছুক্ষণে আধানশূন্য। স্বয়ং-লিখ (Self registering) বীক্ষণকে পৃথিবীর হ্রদের মধ্যে বিভি গভীরতায় রাখিয়া কিংবা বেলুনে করিয়া খুব উচ্চ পাঠাইয়া দেখা যায় যে পৃথি মধ্যে যতই গভীরতা বাড়ে ততই বীক্ষণ আস্তে আস্তে অনাহিত হয় যতই উর্ধে উঠে ততই শীঘ্র শীঘ্র অনাহিত হয়। অর্থাৎ যতই উর্ধে উঠা ততই বায়ু বেশী আয়নিত হয়। ইহার তড়িৎ পরিবাহিতা তত বাড়ে। এসকল পরীক্ষা হইতে অনুমান করা হয় যে পৃথিবীর বাহির হইতে এক প্রকা রশ্মি সমানভাবে চতুর্দিকে ছড়াইয়া পড়িতেছে। ইহার ভেদ-ক্ষমতা γ র চেয়েও বেশী। এই রশ্মিকে **মহাজাগতিক রশ্মি** বলে। এই রশ্মি +আধানে আহিত II পরমাণু। ইহাকে প্রোটোন (Proton) বলে। এই প্রোটোন বায়ুর অণুর সঙ্গে সংঘাতে অনেক প্রকার কণার এবং X-রশ্মির ম অতি ক্ষুদ্র তরঙ্গ-দৈর্ঘ্যের তড়িৎ চুম্বকীয় তরঙ্গের উদ্ভব ঘটায়। অনেকে ম করেন ব্রহ্মাণ্ডের কোথাও হয়ত মূল কণা যথা প্রোটোন, নিউট্রোন ইত্যাদির সংযোগের ফলে পরমাণু গঠিত হইতেছে। এখানে দেখা যায় যে পরমাণু-ভর মূল কণাগুলির ভরের যোগ ফলের অপেক্ষা কম হয়। অর্থাৎ পরমাণু গঠনের সময় ভরের কিছু লোপ হয় এবং এই নষ্ট ভর শক্তিরূপে প্রকাশ পায়। গ্রাম বস্তু যদি সম্পূর্ণরূপে শক্তিতে রূপান্তরিত হয় তবে ৯×১০^২0 আর্গ শক্তি উৎপন্ন হয়। এই শক্তিই মহাজাতিক রশ্মিতে পরিণত হয়। পৃথিবীর বায়ুমণ্ডলে মহাজাগতিক রশ্মি উচ্চ কম্পনাঙ্কে তড়িৎ-চুম্বকীয় তরঙ্গ বিশেষ। মহাজাগতিক রশ্মির সংঘাতে মেসন (Meson) নামক খুব ক্ষণস্থায়ী কণার উদ্ভব ঘটে। ইহাদের ভর ইলেকট্রোনের ভরের ১৫০—৭০০ গুণ।

প্রশ্ন

1. Describe briefly what happens when an electric di ^rge is passed through a vacuum tube in which the pressure is bei ^radually produced. How do you prove that the discharge from cathode consists of charged particles? What are Crooke's dark ^race and Faranay's dark space? (C. U ^33, '36, '30)

2. Explain briefly how X-rays are produced. (All. ? '20, '32)

3. Describe an X-ray bulb and explain how it is v ^ed. Mention some of the properties of X-rays. . U. 1934, '38)

4. A glass tube having a side tube connected to · air-pump is filled with two electrodes at the two ends. How wou ^you arrange to pass an electric discharge through the tube? Descri what happens when discharges are passed with the exhaust pump r ^ing. (Pat. 1936)

প্রয়োজনীয় সমীকরণ

স্থির তড়িতের

(১) $\delta = \frac{\theta}{4\pi^2}$.

(২) $F = C.\frac{q_1 \times q_2}{r_2}$.

(৩) $F = qf$.

(৪) Potential $V = \frac{q}{r}$

(৫) $C = \frac{Q}{V}$.

(৬) $C = r$.

(৭) $K = \frac{C_2}{C_1} = \frac{V_1 - V_2}{V_2}$

(৮) $C = \frac{A}{4\pi t}$ C. G. S

(৯) $\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \ldots + \frac{1}{C_n}$.

(১০) $C = C_1 + C_2 + \ldots + C_n$.

চল্ তড়িতের

(১) $\frac{F_1}{F_2} = \frac{d_2}{d_1}$.

(২) $F = K\frac{il}{r^2}$.

(৩) $F = \frac{2\pi ni}{}dy$.

(৪) $i = \frac{H}{2\pi nr}\tan\theta = \frac{H}{G}\tan\theta$

(৫) $i = \frac{rH}{2\pi n}\sin\theta = \frac{H}{G}\sin\theta$

(৬) $i(amp) = \frac{E(V_0)}{R(oh)}$.

(৭) $E = ir + iR$.

(৮) $i = \frac{nE}{nr + R}$.

(৯) $i = \frac{ME}{r + mR}$.

(১০) $i = \frac{mnE}{nr + mR}$.

(১১) $\frac{1}{R} = \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} + \frac{1}{r_3} + \ldots$

(১২) $R = r_1 + r_2 + r_3 + \ldots$

(১৩) $ig = i\frac{S}{G + S}$.

(১৪) $\frac{R}{\theta} = \frac{R}{x}$.

(১৫) $W = JH$.

(১৬) $H = \frac{i^2Rt}{4 \cdot 2}C$.

(১৭) $W \propto Q \propto i.t.$

(১৮) $W \propto m$.

(১৯) $W = Z.i.t.$

সমাপ্ত